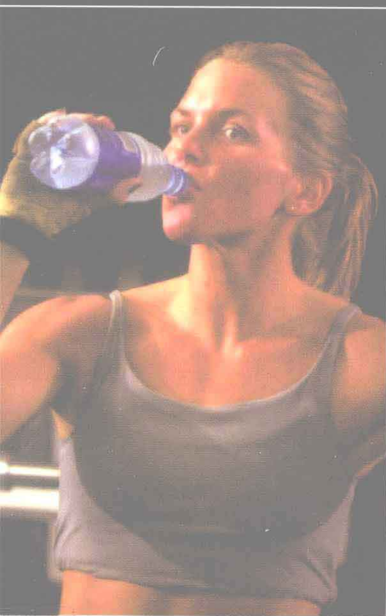
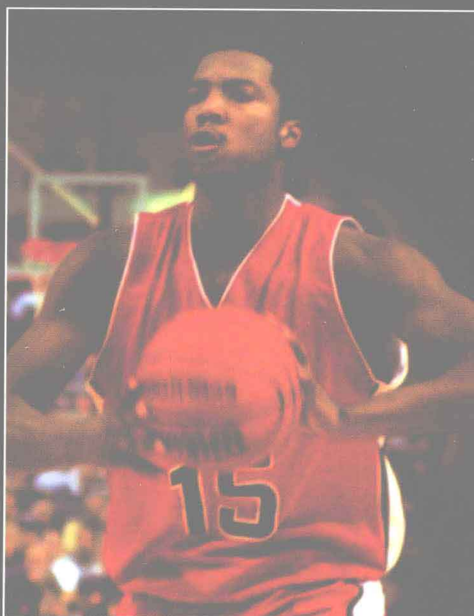
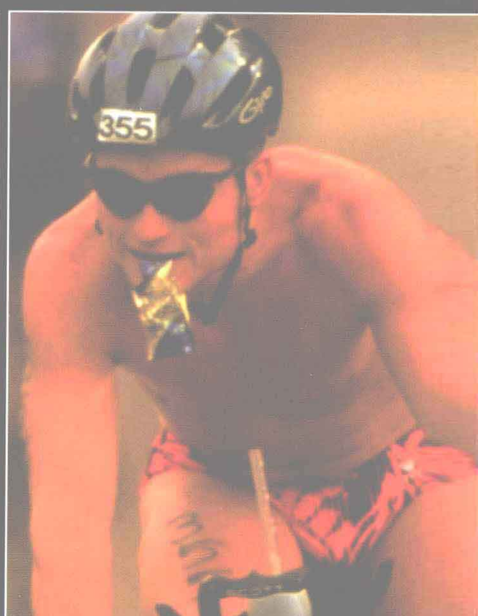
高级运动营养学

细致调节膳食摄入
实现最佳运动成绩







[美] 丹·贝纳多特 著
杨则宜 顾问
安江红 等 译

人民体育出版社

高级运动营养学

《高级运动营养学》综合了营养学深奥、枯燥的专业知识。通过奥林匹克体操运动员与推荐的其他优秀运动员的事例，丹·贝纳多特博士运用浅显易懂的叙述式语言，巧妙地解释了最新的科学发现，强调了以食物为基础合理的营养补充的重要性。《高级运动营养学》可以达到完美的10分，是希望激发最高运动潜力的运动员及其教练员书架上的必备读物。

朱莉娅·艾默斯（Julia Emmons）

2004年美国女子奥林匹克田径队助理教练

运动员与教练员一直在寻求最佳训练效果与运动成绩的途径。《高级运动营养学》向运动员提供了获取体育优势所必备的、最佳的、以研究与成果为基础的资讯与建议。

抛开典型的食物金字塔模式，这部综合指导性书籍专为各类体育项目的运动员量身定制，呈现了适用而有效的营养理念。著名的运动营养学家丹·贝纳多特博士将提高成绩的化学理论应用于比赛制胜法则中，确保运动员关键能量系统时刻保持良好储备状态：

- 对维持每天能量平衡至关重要的进餐时间、零食、饮料、训练与日常活动。
- （适用于任何体育项目的）能量营养素、维生素与矿物质的最佳消化比例与数量。
- 摄入适当的饮料与电解液，以防止脱水与饮水过量。
- 针对特定的运动项目，确定并维持能够提供最大做功的身体组成成分。
- 了解旅行、高海拔以及年龄对营养需求与运动能力的影响。

只有为机体提供充足的能量并保持良好状态时，最佳调整方案与技术指导才具有实际意义。通过使用《高级运动营养学》，确保每次训练或比赛时身体的最佳能量供应。

ISBN 978-7-5009-3663-



责任编辑：王新月
技术编辑：筱　兰

定价：36.00元

高　级
运动营养学

〔美〕丹·贝纳多特　著
（博士、研究总监、美国运动医学学会院士）

杨则宜　顾　问
安江红　等　译

人民体育出版社

图书在版编目(CIP)数据

高级运动营养学/(美) 贝纳多特著；安江红等译．
-北京：人民体育出版社，2011
书名原文：Advanced Sports Nutrition
ISBN 978-7-5009-3663-3

Ⅰ.①高…　Ⅱ.①贝…　②安…　Ⅲ.①体育卫生-营养学　Ⅳ.①G804.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 045172 号

*

人民体育出版社出版发行
三河兴达印务有限公司印刷
新　华　书　店　经　销

*

787×1092　16 开本　18.25 印张　450 千字
2011 年 10 月第 1 版　2011 年 10 月第 1 次印刷
印数：1—3,000 册

*

ISBN 978-7-5009-3663-3
定价：36.00 元

社址：北京市东城区体育馆路 8 号（天坛公园东门）
电话：67151482（发行部）　邮编：100061
传真：67151483　邮购：67118491
网址：www.sportspublish.com

翻译成员

顾　　问：杨则宜　国家体育总局运动医学研究所研究员，博士生导师

译校人员：

安江红　北京市体育科学研究所所长，副研究员

刘　勇　北京市体育科学研究所副研究员

赵之光　北京市体育科学研究所助理研究员

赵　凡　北京市体育科学研究所助理研究员

周帆扬　北京市体育科学研究所助理研究员

我的太太罗宾给我身心带来无限的动力，令我的每一天都快乐而有意义。

我的孩子雅各布与利亚对生活充满热情

这种热情感染着我和周围的人。

亚历克斯、乐奎与伊桑组成了完美的大家庭，

他们个性鲜明，又愉快地生活在一起。

无论工作多么辛苦，时间多么漫长

他们是我工作的动力。

谨以此书献给他们。

序

在体育事业中，把握时机（timing）就是一切——从诸如体操与花样滑冰等项目的瞬间调节，到在持续一整天的铁人比赛中进行能量的分配，无不如此。从营养角度来说，把握时机同样至关重要：运动员必须调节其代谢需求，从而确保达到最佳竞技成绩。而佐治亚州立大学（Georgia State University）的丹·贝纳多特教授更适时出版了《高级运动营养学》一书。2000年，丹·贝纳多特教授曾撰写了《专业运动员的营养学》，该书迅速成为人们倡导健康的运动生活方式的风向标。在该书中，贝纳多特教授也强调了把握时机的关键性。他提出了一种创新理念：即所吃的食物很重要，并非看起来那么简单；消化和运动之间存在着密切的动态关系。在该书的第一版中，贝纳多特教授运用了其最早的研究成果，供一般读者和专家参阅。

目前，该书的再版已进入准备阶段。过去的五年中，运动营养学研究有了太多的新发现，但是，旧内容的简单重复并不符合贝纳多特的想法和要求。毕竟，除了作为专业的营养学家，贝纳多特还因其领先的营养学研究的质量与数量，而被授予美国运动医学学会（American College of Sports Medicine）院士称号。与他的研究方向一致，《高级运动营养学》完全是一部全新的图书，着重概括了他2000—2005年间的文献著作，其中包括大量实用的参考知识。运动营养学领域发生了很多激动人心的事件，本书的适时出版，必定能够引起各方面的广泛关注。由于贝纳多特与不同项目（如田径、花样滑冰与体操）的顶级运动员保持着工作关系，并在以研究为本的理论中，融入了许多实用的智慧，所以阅读此书是一种愉快的体验。这部新书确实是一本饱含精神食粮的好书！

大卫·E·马丁博士　美国运动医学学会院士
佐治亚州立大学荣誉退休校务委员心肺护理科学系保健科学教授

前言

本书是运动员、教练员以及为其工作的医务人员的全面营养学指导书。书中的最终目的是帮助运动员保持更加健康的身体状态，并帮助他们理解如何进行最高水平的对决。许多人认为保持健康的同时进行高水平竞技是不太可能的。但我发现，那些既懂得进行高水平竞技，同时又能保持身体健康的运动员，总是能够获得更长的运动生涯，并在他们所从事的体育项目中不断进步，患慢性病的风险也相对较少。如果营养摄入适当，就能在保持健康的同时达到最佳竞技状态。

随着职业队规模的扩展与奥林匹克运动项目的不断增加，当前参加比赛的优秀运动员的数量也在增加。我们发现，现在竞技运动员的年龄跨度非常大。在夏威夷铁人三项中有处于 60 多岁与 70 多岁年龄组的专业运动员。这种现象的快速出现，刺激了人们对于不同人群的运动营养学信息的需求。考虑到体育领域人口统计状况的不断变化，本书中设有专门阐述影响营养需求的具体因素（如性别、年龄、体成分与体重）的章节。高原训练也会对营养需求产生特定的影响，在另一章节中专门阐述了这一论点。虽然超极限竞赛项目变得越来越普遍，人们对于伴随这种赛事而产生的营养应激仍然存在很多误解。为了阐明影响最佳成绩的营养因素，有章节专门阐述氧气利用效率、能量摄入、消化与吸收的时间调控，以及能量影响因素。

在实现最佳运动成绩并保持身体健康的策略方面，还存在很多误解。即便是随意观察，也可以发现市场上以提高运动成绩为主旨的各种“营养”产品。这些产品特别缺乏针对其所宣传功效的调查，而运动医学文献中也充斥着这样的案例：对服用其中产品的运动员造成了极坏的、甚至致命的后果。对标注有功能强化剂的产品调查发现，这些产品通常含有威胁到运动员健康与运动资格的违禁物质。所存在的潜在性问题是，许多年轻运动员试图通过训练和膳食补充在短期内迅速提高运动能力，但这种方法仅适用于训练有素的专业运动员。因为此方法会导致过度训练、损伤、营养不良与心理紧张——这一切都有可能断送年轻优秀运动员的前途。

考虑到体育竞技的现实以及已经达到事业顶峰的运动员可以获得的巨额奖金，对于运动员来说，对最能够帮助他们达到期望目标的合理的营养策略，保持完全清醒的认识

是很难的。营养产品的广告商们深知运动员是很容易被影响的目标人群。许多产品是建立在科学研究之上的，但有的产品却并非如此。运动员怎么能够了解其中的差别呢？从保健产品店的店员那里能得到可靠的信息吗？人们对营养的某些误解在很久以前就已被证实：高蛋白饮食与最佳运动成绩之间的关系并不成立。然而，运动员、教练员以及许多其他人都仍坚持这一观点。事实是，大部分钱花费在蛋白质与氨基酸补充剂上，只能使得有些人变得富有，却不能使运动员有任何提高。

运动营养学领域发展迅速。目前受到更多的研究者的关注，科技期刊上越来越多的文章集中在研究营养学与运动成绩之间的关系上。随着基础研究的日益扩展，旧的模式变得更加清晰，并产生了新的理念。在一定程度上，每个涉足体育领域的人，思想都必须足够开放，能够质疑旧观念，并接纳新观念。在美国饮食营养协会（American Dietetic Association）与美国运动医学学会关于运动营养学的意见论文中，有关影响运动成绩的营养因素的论述比以前要明确得多。这些学术论文中强调了运动员应关注营养习惯对自身短期与长期的影响。最近，一项关于水合作用的研究强调了准确表达的重要性，因为曲解是可能致命的。研究指出，参加波士顿马拉松身体状态不佳的运动员，如果摄入大量的水，就会增加患低钠血症的风险。但是，并非所有摄入的液体都是水，也并非所有的赛事都要耗时 4 个小时才能结束，而且状态良好的运动员与状态不佳的运动员相比，出汗的速率（在质和量上）也有所不同。然而，某报纸将这一发现解释为，由于具有患低钠血症的风险，所以你不能喝大量的液体，并声称患低钠血症的风险也并非都那么严重。显然，这并不是上述研究的结果。由于这些研究结果存在被曲解的可能性，所以可能会增加运动员脱水与中暑的风险。

如果运动员遵循合理的训练与营养计划，他们很可能会成功并保持健康，相反则可能会造成运动生涯的终止。通常情况下，锻炼与参与体育运动能够而且应该是一件益事。本书潜在的哲学是，参与体育活动应当能够改善终生健康状况，并非带来终生的问题，而良好的营养习惯能够帮助实现这一切。营养上处理得当，对运动员良好的训练与成功的竞技能力都具有积极的影响。

致 谢

作为一个学术团体的成员，撰写这本书对于我认识世界有深远的影响。在这个团队里有我从前熟识的朋友与同事，也有许多我以前没有接触过的人。他们都是无私的，你很难想象他们是如何完成工作的。虽然他们都有着各自繁忙的工作，但是，对于我的每次请求，他们都给予了迅速、完整与精确的答复。他们都是杰出的人，有许多好点子，理解科学，并了解可用来改善人们生活的关键信息。简单地说，他们是了不起的人，我在此非常感谢，正是他们对这本书以及运用其中知识的运动员和教练员的生活产生了积极的影响。

与我一起负责优秀运动员运动能力实验室的大卫·马丁博士，对于马拉松项目有着非常深刻的认识。他关于环境条件与跑道海拔对于人类长跑成绩影响的认识是任何人都难以匹敌的，这些认识也是2004年雅典奥林匹克运动会美国马拉松选手取得成功的关键。他为代表美国参加世界锦标赛与奥运会的马拉松选手组建的赛前训练营，已经成为一个传奇，并且对于这些天才运动员与教练员来说，已经成为必须经历的环节。在过去的几年中，我与戴夫（大卫的昵称）一起环游世界，他总是有办法巧妙地解释我们讨论中遇到的各种复杂问题。我特别钟爱的话题之一——“污染的解决方法是削减”，巧妙地回答了许多与分析运动员脱水引发的后果相关的问题。戴夫博士（认识他的人都这么亲切地叫他）集卓越的才华与朴素的老式幽默于一身，这一点非常难得。我对他充满感激。

沃尔特·汤普森博士是一位具有才干且精力充沛的运动生理学家。在完成委员会交给的全部任务、管理科研基金并在大学任教的同时，他还积极投身于改善贫民区青少年的福利。尽管工作繁忙，他还与太太迪昂一起贮存了一些我品尝过的最好的墨尔乐红葡萄酒。许多年来，沃尔特一直都是我的知心同事（他曾是我婚礼上的伴郎），我们共同执笔了大量的论文与书籍章节。如果说我非常依赖于听取他的意见，也许听起来有点夸张，但确实如此。他是我最想与之畅快辩论的人之一，他总是能让我的思维变得清晰。

米尔德里德·（米西）·科迪博士是一位食品科学家，她的知识面极其广泛。但米西保持着安静、乐观、自信的风度，这常常掩饰了她超人的精力。几乎在她所从事的所有工作中，米西都是“先锋”人物。人们想要更好地了解新电子媒体功能时，也会去找她。她经常调整课程内容与讲课方法，以便尽可能地使学生更好地掌握更多的知识。对我来说，米西除了是一位朋友与同事之外，还是很多创造性点子的源泉。你永远猜不到在吃午饭时能从她那里学到什么。有她在周围，绝对是快乐的。

与我一起为本书工作的 Human Kinetics 出版社的朋友们——特别是雅娜·哈特与凯斯·约翰斯顿，都非常友善和聪明，他们为本书运用了所有与写书有关的细节技巧。能够拥有他们，Human Kinetics 是幸运的；我也很庆幸能够由他们来负责我这本书。

我与运动员们一起合作。由于他们的人数太多，无法在致谢中一一提及，但你们知道，这一段正是为你们而写的。没有你们，我不可能得到任何有价值的东西，所以你们很难想象我是多么感谢你们。你们是最棒的，是你们激励着我做得比平时更好。谢谢你们。

本书所呈现的是上述所有人以及许许多多其他相关人士的共同智慧，包括我的太太罗宾，她一直无私地支持我。书中的观点源自许多地方，与教练的非正式交谈、某一会议的讲演者、与同事共进午餐时、与群体运动员共进晚餐时、对运动员竞技的观察——都是我提取信息的源泉，原料多样，口味各异。我知道，我的每个文字都受到其他人的影响，我对此非常感激。

目 录

第1篇

运动员的营养来源

1 能量营养素

运动员对能量营养素的需求很大，有大量的科学研究将注意力集中在优化能量物质的分布上，以支持不同强度与持续时间的训练。研究清楚地表明，对碳水化合物的依赖随训练强度的加大而增强，而且对于如何供给碳水化合物以优化糖原储存，如何在训练与比赛过程中最佳地提供碳水化合物，以及能量物质如何促进肌肉恢复，已经有许多研究为此提供了有价值的指导。现在，关于蛋白质对肌肉功能与恢复作用的理解较之以前大有提高，有许多新的科学研究，正关注于受碳水化合物、蛋白质与脂肪调节的神经和肌肉功能之间的关系。目前，高蛋白、高脂肪与低碳水化合物膳食的流行，对运动成绩有重要的影响。运动员与教练员清楚如何确定适当的能量摄入与能量物质分配，以优化神经与肌肉功能，这是非常重要的。本章介绍了运动过程中碳水化合物、蛋白质与脂肪代谢的基本要素，提出了关于这些基本物质如何优化运动成绩的重要科学的观点（表 1.1）。

表 1.1 能量物质的基本功能

碳水化合物 (4 千卡 / 克)	能量与肌肉燃料(来自淀粉、糖类与糖原) 胆固醇与脂肪控制(来自膳食纤维) 帮助消化(来自膳食纤维) 营养物质与水的吸收(来自糖类)
蛋白质 (4 千卡 / 克)	能量来源(当碳水化合物减少时) 提供必需氨基酸(机体需要但无法自行合成的氨基酸) 新组织生长的必需物质(生长与损伤修复所必需的) 维持现有组织的必需物质(帮助控制正常的损耗) 合成酶、抗体与激素的基本物质 体液平衡(帮助控制细胞内外的水平衡) 血液中的物质载体(把维生素、矿物质与脂肪运进/运出细胞)
脂肪 (9 千卡 / 克)	运送脂溶性维生素(维生素 A、D、E、K) 递送必需脂肪酸(机体需要但自身无法合成的脂肪酸) 能量与肌肉燃料(供低强度活动) 饱足控制(从进食中获得满足感) 许多激素的成分

碳水化合物

碳水化合物有不同的种类，每种都在我们的身体中有不同的功能。例如：葡萄糖与糠麸都是碳水化合物，但它们处在能量谱的两个极端。葡萄糖能够快速地进入血液，并引起高胰岛素反应，然而，由于糠麸的难消化性，以及通过减慢其他能量源进入血液的速度来调节胰岛素反应的特性，糠麸中所含有的能量从未进入血液。碳水化合物的这种自身差异，要求运动员必须仔细考虑在不同情况下最合适的碳水化合物的种类。葡萄糖是肌肉活动的主要燃料来源，而且运动的强度越大，对葡萄糖作为燃料的依赖性就越大。当葡萄糖耗竭时，运动员停止活动。因此，如何防止葡萄糖耗尽，应当成为运动员的营养实践中主要的关注点。与蛋白质或脂肪不同，机体维持足量的碳水化合物比较困难，因为人类储存碳水化合物的能力是有限的。在运动强度更高水平训练时，保持足量的碳水化合物尤其重要，因为在这种情况下，对作为肌肉燃料来源的碳水化合物依赖性更大。尽管多年的研究证实了保持碳水化合物供给对于维持肌肉耐力与神经功能的重要性，但许多运动员仍然相信蛋白质是取得比赛成功的关键性物质。虽然所有的物质都是重要的，但在合适的时间供给适当数量的碳水化合物，能够使有限的碳水化合物存储最优化，确保向大脑更好地输送碳水化合物，并且提高耐力表现。相比之下，注重过量摄入蛋白质对提高运动成绩或健康感收效甚微。

碳水化合物的种类

并非所有的碳水化合物都具有相同的形态、功能，并对健康起同样的作用。所有碳水化合物的基本单位是单糖（或单分子碳水化合物）。一般单糖都含有6个碳元素，虽然它们只在氢-氧排列上有细微的变化，但这些细微的变化是造成新陈代谢差异的重要原因。人类细胞基本的代谢单位是葡萄糖单糖，其他的单糖可以通过生化途径转化为葡萄糖。链结在一起的单糖的数量，是碳水化合物分类的主要基础（表1.2）。

表1.2　碳水化合物的分类

简单碳水化合物	糖类	单糖 （单分子碳水化合物）	葡萄糖（也称右旋糖） 果糖（也称左旋糖，或水果糖） 半乳糖	一些糖类或简单碳水化合物容易引起血糖快速升高，因此刺激过量的胰岛素生成并导致血糖快速下降。葡萄糖与麦芽糖对血糖的影响最大
		双糖 （两分子碳水化合物）	蔗糖 乳糖 麦芽糖	
复杂碳水化合物	部分可消化多糖	低聚糖 （3~20分子碳水化合物）	麦芽糊精 低聚果糖 棉子糖 水苏糖 毛蕊花糖	部分可消化多糖通常存在于豆类，虽然它们容易产生气体与胀气，但仍被认为是健康的碳水化合物
	多糖	可消化多糖 （20以上分子碳水化合物）	淀粉糖 支链淀粉 葡萄糖聚合物	这些复杂碳水化合物应当是碳水化合物能量的主要来源。葡萄糖聚合物是由淀粉水解成的，通常用于运动饮料与运动凝胶
		不可消化多糖 （20以上分子非淀粉性碳水化合物）	纤维素 半纤维素 果胶 树胶 粘胶 海藻多糖 β–葡聚糖 果聚糖	这些复杂碳水化合物提供纤维素，而纤维素对促进肠道健康与抗病能力是非常重要的
其他		其他碳水化合物	甘露糖醇 山梨糖醇 木糖醇 糖原 核糖（一种含有5个碳元素的糖类）	甘露醇、山梨糖醇与木糖醇（糖醇）是不会引起蛀牙的营养性甜味料。由于其保湿性与食物稳定性，通常用于产品加工中，但是它们的消化速度缓慢，如果大量服用，可引起肠胃肠不适。 糖原是动物体内碳水化合物的主要存储形式，而核糖是遗传密码的组成成分（脱氧核糖核酸，或称DNA）

三种主要单糖（葡萄糖、果糖与半乳糖）每一种都具有不同的溶解特性、甜度以及与其所存在的食物环境之间的反应性。除了作为高果糖（玉米）甜味剂存在于越来越多的加工食品中的果糖外，多数单糖都由食物中的双糖分解来供给。双糖是两个分子的碳水化合物（即由两个单糖连接而成）。

蔗糖、麦芽糖与乳糖是三种主要的双糖，每种双糖都含有不同的单糖组合（表 1.3）。单糖与双糖共同被称为简单碳水化合物或简单糖类，而多糖通常被称为复杂碳水化合物。难以消化的碳水化合物也属于复杂的碳水化合物，但是它们通常被称做膳食纤维。

表 1.3　单糖与双糖之间的关系

双糖	含有这些单糖
蔗糖（甘蔗糖）	葡萄糖、果糖
乳糖（牛奶糖）	葡萄糖、半乳糖
麦芽糖（麦芽糖）	葡萄糖、葡萄糖

糖类（单糖与双糖）具有不同的甜度特性，其中果糖最甜，其次是蔗糖、葡萄糖与乳糖（甜度最小）。另一方面，糖类在口感与溶解性上也有差别（如果糖比蔗糖更不易溶解），所有这些都对食品加工商在食品制作中的用糖产生影响。目前，运动员有大量运动饮料可以选择，每种饮料含有的单糖与双糖比例不同，而且都试图在口味、肠耐受、胃排空、电解质补充以及为运动的肌肉提供能量方面达到最佳的组合。

碳水化合物的代谢

人类能够储存大约 350 克（1400 千卡）的肌糖原，另有 90 克（360 千卡）的糖原储存在肝脏中，并有少量的葡萄糖（5 克左右，或大约 20 千卡）在血液中循环。肌肉的体积越大，潜在的糖原储存与潜在的需求就越大。

通过调节胰岛素与胰高血糖素，血糖维持在一个相对较小的变动范围内（70~110 毫克/100 毫升）。胰岛素与胰高血糖素是胰腺激素，它们相互作用以控制血糖（图 1.1）。胰岛素生成过多会导致低血糖，从而生成过多的脂肪；胰岛素生成不足可导致高血糖和糖尿病。

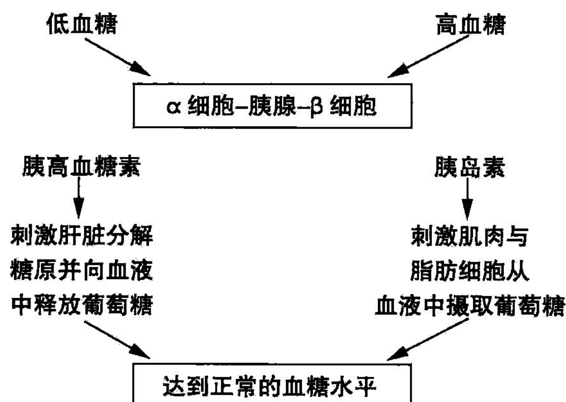


图 1.1　胰腺对维持血糖水平正常化的作用

胰腺的β细胞分泌胰岛素，而胰高血糖素则由α细胞分泌。胰岛素分泌的刺激因素是高血糖（血糖越高，胰岛素反应也越高）。但是，即使血糖处于正常范围内，胰腺仍持续分泌少量的胰岛素，使葡萄糖稳定地供应到脑与肌肉细胞。胰岛素通过影响肌肉细胞与脂肪细胞的细胞膜降低血糖，从而使血液中的葡萄糖进入细胞。这一过程使血液中的葡萄糖转移为细胞葡萄糖，并解释了胰岛素降低血糖的作用，同时使细胞获得了所需的能量来源。（血糖通路图解见图 1.2）

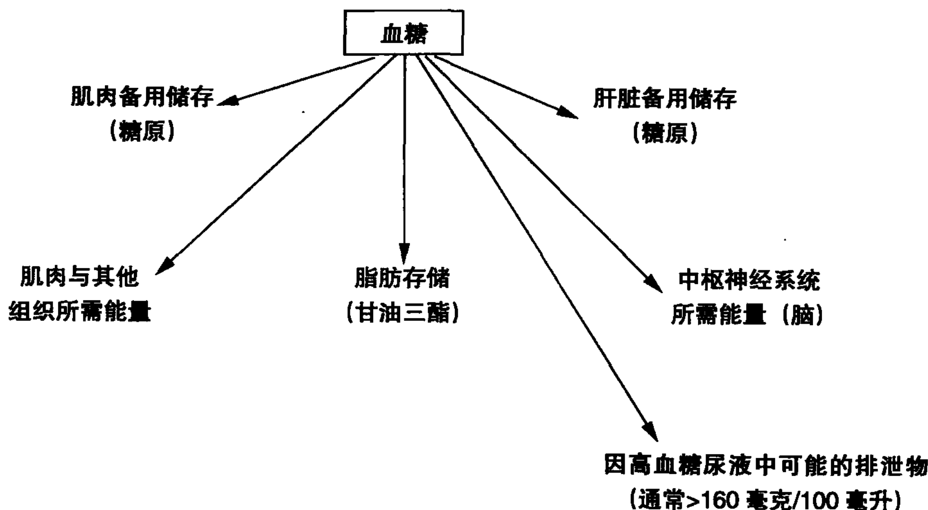


图 1.2　血糖可能的路径图解

在两餐之间和运动过程中出现低血糖时，胰高血糖素就会分泌。血糖水平越低，分泌的胰高血糖素越多。胰高血糖素引起肝糖原的分解代谢，导致部分葡萄糖分子释放到血液中。胰高血糖素还可以促进糖异生（从非葡萄糖物质中生成葡萄糖）。例如，氨基酸丙氨酸是由蛋白质生成的，并由肝脏转化成葡萄糖。

由肝脏释放，用以维持血糖的葡萄糖大约 60%来自于肝糖原储存，其余的葡萄糖合成则来自于由乳酸、丙酮酸、甘油和氨基酸[1]。运动过程中肝糖原分解入血的速率受运动强度影响，运动强度越大，肝糖原释放的速率越快。长时间的耐力活动中，低血液胰岛素、高肾上腺素和胰高血糖素结合起来刺激肝脏释放葡萄糖[2]。

除胰岛素与胰高血糖素外，另外两种激素也能对血糖产生影响。肾上腺素是一种应激激素，能够引起肝糖原快速分解，并迅速提升血糖水平。由肾上腺分泌的皮质醇也是一种能够促进蛋白质分解代谢的应激激素。这种蛋白质的分解为糖异生提供某种生成葡萄糖的氨基酸，最终导致血糖升高。肾上腺素与皮质醇的释放都是运动应激的结果，两种激素都通过血糖水平的高低来调节。控制肾上腺素的生成有助于保存肝糖原，而控制皮质醇则有助于保存肌肉蛋白。这是运动中摄入碳水化合物的有力论据。

血液中葡萄糖循环主要来自于膳食中的碳水化合物，其中主要来源是淀粉。复杂碳水化合物（淀粉）被消化为单糖（葡萄糖、果糖与半乳糖）从而被血液吸收。在某

些情况下，由于个体乳糖酶不足，无法将乳糖分解成单糖成分（葡萄糖与半乳糖），致使肠中的乳糖无法消化。这种现象被称为乳糖不耐受，可导致胀气、腹部疼痛、腹泻与脱水。

多余的葡萄糖在肝脏与肌肉中以糖原的形式储存，直到饱和为止。肝脏最大的糖原储存能力为 87~100 克（348~400 千卡），而肌肉的储存能力大概为 350 克（1400 千卡），在大个子的人体中还会多一点。当糖原储存达到饱和以后，再向细胞提供额外的葡萄糖，就会使多余的葡萄糖以脂肪形式存储（在肌肉与脂肪细胞中都是如此）。肝糖原的主要作用是稳定血糖，而肌糖原主要为有氧运动和无氧运动中的肌肉提供能量来源。当肝糖原耗竭时，即使肌肉糖原存储充足，要保持血糖也是不容易的。

血糖是中枢神经系统的主要燃料来源。低血糖导致中枢神经系统活动低下，并伴有易怒和注意力不集中。对运动员来说，低血糖可能会伴随神经疲劳，从而导致肌肉疲劳，亦与此有关。即使持续时间较短的活动，肝糖原与血糖存储也容易耗竭，所以活动过程中碳水化合物的摄入是保持神经功能和最终肌肉功能的关键因素。

糖酵解

ATP（三磷酸腺苷）对细胞来说是高能化合物。机体中可以直接使用的 ATP 的储量有限，所以在运动过程中必须迅速地生成 ATP。运动的强度越大，ATP 生成的速度就必须越快。在稳定状态下的低强度活动中，可以通过碳水化合物与脂肪的氧化作用，有氧生成充足的 ATP。但是，随着运动强度的增加，运动员所需要的 ATP 生成水平无法全靠有氧氧化供给 [3, 4]（表 1.4）。

表 1.4 能量代谢系统

系统	特征	持续时间
磷酸肌酸系统（PCr）	由存储的磷酸肌酸无氧生成 ATP	最大强度的活动中使用
无氧糖酵解（乳酸系统）	由糖原无氧分解生成 ATP；本系统的副产品是乳酸	当运动员无法摄入充足氧气的情况下，以极高强度活动时使用；本系统持续生成 ATP 不超过 2 分钟
有氧糖酵解	由糖原有氧分解，生成大量 ATP	在需要大量 ATP，但运动员可以为本系统摄入充足氧气的高强度活动中使用
有氧系统（有氧代谢作用）	由碳水化合物与脂肪有氧分解，生成 ATP	用于持续时间长的低强度活动中，可以生成充足数量的 ATP，但不会生成使本系统受限的副产品

糖酵解是通过将糖原分解成葡萄糖，生成大量 ATP 的过程。这个过程可以在有氧气（有氧糖酵解）或无氧气（无氧糖酵解）的情况下发生。有氧糖酵解比无氧糖酵解生成更多的 ATP，而且，与无氧糖酵解不同，有氧糖酵解不会生成乳酸。由于这个原因，无氧糖酵解也被称为乳酸系统。当活动强度超过了向系统提供充足的氧气以满足能量需要的最大限度时，无氧糖酵解便成为生成 ATP 的主要途径。但是，极高强度的无氧活

动受自身制约，因为乳酸供能允许活动持续时间最多仅为 1.5~2 分钟。在高强度体育项目中给运动员安排恢复的时机很有代表性。例如：竞技体操中自由操比赛通常是 1.5 分钟，之后体操运动员可以进行休息与恢复，并为下一个高强度项目做准备。冰上曲棍球运动员需要频繁地替换（一位冰上曲棍球运动员连续滑行几乎不会超过 2 分钟），以便肌肉恢复。

无氧糖酵解中生成的乳酸被认为是储存能量的一种很好的形式，待氧气充足重新进入系统被氧化利用。当运动强度降低、运动员有足够的氧气供给有氧代谢系统时，乳酸被转化成丙酮酸，用于有氧生成 ATP。

糖异生

糖异生指由非碳水化合物物质生成葡萄糖的过程。血糖对中枢神经系统的功能至关重要，同时帮助脂肪代谢，并向工作细胞提供燃料。但是，由于血糖的储存能力有限，最低水平的葡萄糖总是通过非碳水化合物转化成葡萄糖的方法获得的，糖异生有三个系统：

1. 甘油三酯是人体中最主要的脂肪存储形式，即一个甘油分子上附有三个脂肪酸。甘油三酯的分解能够得到游离的甘油分子（一种含有三个碳元素的物质），而肝脏中两个甘油分子的结合能够生成一个葡萄糖分子（一种含有六个碳元素的物质）。

2. 肌肉蛋白质分解代谢能够生成大量的游离氨基酸，这些氨基酸是构成肌肉的基本成分。其中有一种氨基酸——丙氨酸能够经由肝脏转化生成葡萄糖。

3. 无氧糖酵解生成乳酸。这种乳酸能够被重新转化成丙酮酸，从而有氧生成 ATP，或者两个乳酸分子在肝脏中组合生成葡萄糖。由乳酸向葡萄糖转化的过程被称为乳酸循环（Cori cycle，乳酸从肌肉中消除，葡萄糖重新进入肌肉）。在低血糖的情况下，丙酮酸能够被转化成乳酸，并通过乳酸循环生成葡萄糖。

运动过程中碳水化合物的动用

较低的碳水化合物水平会导致运动疲劳。由于碳水化合物存储（或糖原储存）有限（肝糖原 350 千卡左右，肌糖原 1400 千卡左右），运动员必须考虑如何在糖原充足的情况下开始运动，并应当建立一个能够防止糖原储存减少的常规程序。即使肌肉的糖原存储是充足的，肝糖原储存较低也会导致低血糖症与神经疲劳，而神经疲劳会导致肌肉疲劳。

运动的强度越高，碳水化合物作为能量物质，运动员对其依赖性就越大。即使是大部分燃料来自脂肪的低强度运动（如以有氧为主的运动），也需要一定水平的碳水化合物，以便脂肪充分燃烧并保持血糖水平。因此，所有形式的体育活动都对碳水化合物有一定的依赖性。

在运动过程中，有很多因素影响碳水化合物在总热能需求中所占的比例。能够增加

对碳水化合物依赖性的因素如下：

- 高强度活动
- 持续时间较长的活动
- 极热与极冷温度下的运动
- 高原训练
- 年龄（少年比成年男子的依赖性高）

降低碳水化合物的相关能量消耗的因素包括如下几点：

- 耐力训练
- 良好体能
- 温度适应
- 性别

通常人们有一个误解，认为低强度活动（65%最大摄氧量以下）是消耗脂肪最有效的途径。事实上，许多流行的运动都是围绕这一理念组织的，即低强度的有氧运动是"燃烧"大量脂肪的最有效的途径。但是燃烧脂肪的比例不能与燃烧脂肪的量相混淆。当你坐在那阅读这个句子时，很可能你绝大部分的能量需要来自于脂肪。但是，被燃烧的脂肪总量是极低的（否则，坐在电视前就会成为启动减肥计划的绝好途径了）。当加大运动强度时，源自脂肪的能量比例就会减少，而源自碳水化合物的能量比例就会增加，但总会燃烧一定水平的脂肪。高强度活动中单位时间总热量需求比低强度活动中要大得多，而高强度活动中所燃烧的脂肪量也较大（尽管满足总的能量需求中脂肪供能比例较低）。因此，运动员应当在规定的时间范围内尽可能激烈地运动以增加脂肪消耗，并且使身体成分最优化（见第12章）。



当运动强度加大时，对碳水化合物摄入的需求也随之加大，因此赛前的高碳水化合物饮食是非常必要的。

由于碳水化合物利用每单位氧气产生的能量比其他燃料更多，所以碳水化合物是运动员至关重要的燃料。同样消耗1升氧气，从碳水化合物获取的能量大约是5千卡，而从脂肪仅能获得4.7千卡。此外，有氧糖酵解产生的用于肌肉活动的ATP的量与速度都比脂肪氧化产生的更多、更快。碳水化合物高水平的能量效率，有助于解释高强度活动中当肌肉糖原几近耗

竭时迅速出现的肌肉疲劳，其原因是不能向运动肌提供维持运动强度所需的充足的ATP。

中枢疲劳理论

二磷酸腺苷（ADP）转化成ATP的转化率是向运动肌肉提供能量的关键步骤。可用碳水化合物的不足降低了ADP向ATP的转化率，使肌肉无法继续进行高强度运动。此外，ADP向ATP转化失败导致ADP堆积，这也会加剧肌肉疲劳产生[5]。

中枢神经系统所涉及的其他因素也会造成肌肉疲劳[6]。作为一个整体，这些因素统称为中枢疲劳理论。所有这些理论都涉及一些机制，即高于正常量的氨基酸—色氨酸穿过血脑屏障，导致5-羟色胺（5-HT）生成增加。5-HT是一种神经递质，能使人感到放松，但如果生成的5-HT足够多，人就会感到困倦。对运动员来说，这会转变成肌肉疲劳。简单地说，神经疲劳导致肌肉疲劳。

原理1 低血糖与低肌糖原储量刺激肌肉分解形成葡萄糖。这导致支链氨基酸[7]（BCAAs）代谢增加，从而使循环血液中的支链氨基酸减少。支链氨基酸与色氨酸竞争相同的载体以帮助其穿越血脑屏障。当支链氨基酸的含量高时，色氨酸通往大脑的通道就受到抑制。但是，当支链氨基酸的血液水平低（需要它们代谢提供能量时会出现这种情况）时，色氨酸能够竞争到更多的载体并进入大脑。而色氨酸促进5-HT的生成。为了防止这种现象的发生，必须维持血液与肌糖原在一定水平以避免糖异生。

原理2 进食色氨酸含量高的食物（如火鸡）能够增加通过血脑屏障的色氨酸的量，致使生成更多的5-HT。5-HT的增加会导致过早疲劳[8]。

原理3 脂肪同色氨酸一样在血液中争夺相同的蛋白质载体。高脂肪的摄入会优先竞争此蛋白质载体，使游离的能穿越血脑屏障的色氨酸比例增高。这会导致生成更多的5-HT。5-HT的增加会导致疲劳过早发生[8]。

支链氨基酸与碳水化合物的摄入都会降低5-HT水平，从而防止神经与生理疲劳，这或许是符合逻辑的。但是，由于在区分大脑与肌肉影响方面存在困难，尚无研究作出定论[9]。此外，有些化合物会起到干扰作用，如咖啡因，已经证实它的摄入可以通过对中枢神经系统暂时刺激而延缓疲劳[10]。

碳水化合物的需求量

美国医学研究所建议每天摄入130克（520千卡）的碳水化合物，这是大脑平均最小的葡萄糖用量[11]。理想的碳水化合物摄入范围占总能量摄入的45%~65%［也被称为可接受的大量营养元素摄取范围（Acceptable Macronutrient Distribution Range），或AMDR］，食品标签上碳水化合物的每日用量（DV）是根据所建议的60%总能量摄入而来的。这些推荐用量通常还建议从糖类（单糖与双糖）中获取的碳水化合物摄入量不超过25%[11, 12]。

膳食纤维的摄入（源自不可消化与部分可消化的多糖），成年男子每天应当保持在38克的水平，成年女子为每天25克。摄入充足的纤维有助于维持正常的血糖，降低心脏疾病风险，并减少便秘的危险。所推荐的纤维摄入量存在性别差异的原因是女性摄入的食物总重量与热量通常较低。

有人指出，我们对碳水化合物的真正需要是维生素C——一种含有6个碳元素的、类似葡萄糖的物质，大多数动物都可以通过葡萄糖的酶转化获得。有一些历史资料证实，我们人类的祖先几乎不进食碳水化合物，而且生存下来了。尽管如此，就运动员以及大量证明碳水化合物是运动成绩的限制性物质的研究而言，人类的生存与人类的表现完全不同，运动员需要碳水化合物。

运动员对碳水化合物的需求有许多因素。运动员必须摄入足够的碳水化合物，以便：

- 为满足机体热量需求提供能量；
- 优化糖原存储；
- 体育活动后使肌肉得以恢复；
- 在训练与比赛过程中，提供耐受良好的能量来源；
- 在两餐之间提供快捷的能量来源，以维持血糖水平。

确定能量摄入的传统原则是，把摄入碳水化合物的量看做热量摄入总量的一个比例。一般人群的推荐量是，碳水化合物提供总热量的50%~55%[13]，成年男女的膳食参考摄入量（DRI）是每天130克（每天520千卡）。但是，特别针对运动员的推荐量是总热量的55%与65%（假定总热量摄入充足）。另外一个比较清晰明了确定碳水化合物需求量的方法是，以每千克身体重量所需要消耗的碳水化合物的量（克）来考虑。对耐力训练的运动员碳水化合物摄入量的推荐范围是每天每公斤体重7~8克[14, 15]。研究发现，不同项目的运动员对碳水化合物的摄入不同［从事不同体育项目的运动员的碳水化合物摄入（通常不足）简介，见表1.5］。

表1.5 不同项目运动员对碳水化合物摄入量 *

研究参考	体育项目	中等摄入量（克/千克）	高摄入量（克/千克）
Costill 等人，1988年	游泳	5.3	8.2
Lamb 等人，1990年	游泳	6.5	12.1
Kirwan 等人，1988年	长跑	3.9	8.0
Sherman 等人，1993年	长跑	5.0	10.0
Simonsen 等人，1991年	划船	5.0	10.0
Sherman 等人，1993年	自行车	5.0	10.0

* 基于每公斤体重的碳水化合物克数。

Adapted, by permission, from L.M. Burke, 2000, Dietary carbohydrates. In *Nutrition in Sport*, edited by R.J. Maughan (London, England: Blackwell Science), 82.

这些数据显示，运动员对碳水化合物的摄入量应该在5~10克/公斤体重或者20~40千卡/公斤体重。假设一位体重155磅（70公斤）的运动员，应该从碳水化合物中摄入1400~2800千卡，这表示比膳食参考摄入量的520千卡碳水化合物要高得多。假设碳水化合物摄入量占总热量的60%，这位运动员每天要摄入2300~4700千

卡。按此逻辑，一位300磅（136公斤）重的橄榄球队前锋每天仅从碳水化合物中获得能量就达2700~5400千卡，由于碳水化合物的能量密度相对较低（即，只有4千卡/天），所以这是一个难以实现的数字。通常推荐的碳水化合物摄入量是根据运动强度与持续时间而定的，持续时间越长、训练强度越大，所需要的量也就越大（运动员应该进食多少碳水化合物才能优化表现与恢复体力，见表1.6）。

表1.6 运动员的碳水化合物需求量

活动或者时间	推荐摄入量	举例
运动后即刻的恢复（0~4小时）	1克碳水化合物/公斤体重/小时（间断频繁摄入）	一位体重155磅（70公斤）的运动员运动后立即摄入70克的碳水化合物（280千卡），接着每1小时额外摄入70克，共4小时
中等耐力、低强度训练任务后日常恢复	5~7克碳水化合物/公斤体重/天	一位体重155磅（70公斤）的运动员一整天训练后摄入350~490克碳水化合物（1400~1960千卡）。（这个数字包括训练后快速恢复所摄入的量）
中等至高强度耐力训练任务后的日常恢复	7~12克碳水化合物/公斤体重/天	一位体重155磅（70公斤）的运动员一整天训练后摄入490~840克的碳水化合物（1960~3360千卡）。（这个数字包括训练后快速恢复所摄入的量）
包括每天持续4小时以上训练的极限运动任务后的日常恢复	10~12克碳水化合物（或更多）/公斤体重/天	一位体重155磅（70公斤）的运动员一整天训练后摄入700~840克的碳水化合物（2800~3360千卡）。（这个数字包括训练后快速恢复所摄入的量）

Modified from L. Burke and E. Coyle, 2004. "Nutrition for athletes," *Journal of Sports Sciences*, 22(1) 39-55.

大多数碳水化合物都源自谷类、豆类、水果与蔬菜。肉类中没有可检测出的碳水化合物，牛奶与奶酪中只含有少量的碳水化合物。一些日常产品中添加了糖（酸奶、冰淇淋）等以便被普遍地接受。

血糖指数用以衡量碳水化合物消耗并转化成血糖的速度。由于葡萄糖不需经过消化并能迅速地进入血液，因此各种食物都与葡萄糖的消化相对比。葡萄糖的血糖指数100被用做与其他食物的对比基数。在等热量的基础上对食物进行对比（即所有食物都提供同样数量的千卡），这虽然有其合理性，但也是造成一些与血糖指数有关的混淆的原因。例如：胡萝卜的血糖指数较高（>85），但一般胡萝卜摄入量很低以致于进入到血液中的葡萄糖总热量也将会很少。

一些食物的血糖指数高得让人吃惊，另外一些则出奇得低。例如，玉米片谷物（84）比蔗糖（65）的血糖指数还要高。但是，当你分析这两种食物的碳水化合物组成时就会明白其中的原因。玉米片中的谷粒主要由双糖麦芽糖组成，它包括两个葡萄糖分子。另一方面，蔗糖由葡萄糖与果糖组成。果糖必须经由肝脏转换成葡萄糖，这种额外的转换减慢了血糖的反应速度。

由于葡萄糖的量和其进入血液的速度会影响胰岛素分泌量，所以人们（包括运动员）都愿意摄入中低血糖指数的碳水化合物。但是，这就有一个时间问题，如在运动中与运动后即刻，高血糖指数的食物也许对运动员更适合（碳水化合物食物及其血糖指数举例见表1.7）。

表 1.7 高碳水化合物血糖指数举例

分类	食物	血糖指数
高（>70）	葡萄糖	100
	烤土豆	85
	玉米片	84
	速溶土豆泥	83
	蜂蜜	73
	白面包	70
中（55~70）	全麦面包	69
	软饮料	68
	速溶燕麦片	66
	蔗糖（方糖）	65
	糙米或白米	59
	橘子汁	57
低（<55）	成熟香蕉	52
	巧克力	49
	橘子	43
	全麸	42
	意大利面食	41
	烘豆	40
	苹果	36
	菜豆	27
	果糖	20

Reprinted, by permission, from K. Foster-Powell and J.B. Miller, 1995, "International table of glycemic index," *American Journal of Clinical Nutrition* 62: 871S-893S.

一般来说，高纤维素含量的碳水化合物食物血糖指数较低，因此运动员最好选择这一类食物。但是，膳食纤维容易产生胀气，因此不适宜在赛前与赛中选择。可溶性纤维素食物引起问题的可能性要小一些，运动员可以进行尝试，以决定哪种食物最容易耐受（富含可溶性纤维素与不可溶性纤维素的食物，见表 1.8）。运动员通常会发现，具有低纤维素含量的淀粉类碳水化合物，如意大利面食，是最容易接受并能提供运动员所需的高含量碳水化合物。

表 1.8 富含可溶性纤维素与不可溶性纤维素的食物

可溶性纤维素的良好来源	不可溶性纤维素的良好来源
香蕉	糙旬
大麦	甜菜
豆荚与豆类	球芽甘蓝
胡萝卜	甘蓝
柑橘类的水果	花椰菜
燕麦麸	带皮水果与蔬菜
燕麦制品	稻米（白米除外）
豌豆	芜菁甘蓝
米糠	麦麸
草莓	麦片
甘薯	全麦面包

碳水化合物与体育活动

由于体育活动的能量消耗率快速增加，运动员要取得成功，就必须制订所需能量最佳供应计划。对运动员来说重要的是，摄入足够能量以满足总体能量需求，这包括维持正常组织及其生长（儿童与青少年）、修复以及活动本身的能量需求。在没有形成如何最佳满足总体能量需求的概念之前，谈论能量物质的理想分配是不可能的。虽然看起来这个说法既合理又简单，但事实上，所有的调查都发现，运动员没有做到摄入充足的能量，以充分满足他们的需要。这像计划开法拉利车行驶 160 公里的旅程，可你在油箱里仅加了够行驶 130 公里的高标号汽油一样。结果法拉利车无法抵达目的地，能量不足的运动员很难达到最优竞技能力也是如此。一旦制订了获取充足能量的计划，运动员就能合理地考虑如何分配能量，并将能量物质（碳水化合物、蛋白质与脂肪）进行最优化分配。运动员应当摄入充足的碳水化合物以满足与运动相关的大部分能量需求，并在运动间歇补充足够的碳水化合物以恢复肌糖原储备，这是普遍可以接受的观点[16]。

理想的情况是，运动员在可能的情况下应当摄入复杂碳水化合物，但在运动过程中与运动后即刻应当摄入简单碳水化合物。为满足总体营养素的需求，还应当摄入其他能量物质（蛋白质与脂肪），但应当始终把碳水化合物作为主要的能量来源。没有一个良好的计划，运动员很难摄入充足的能量和碳水化合物。运动员一定记住，没有一个合理的营养计划做后盾的单纯的训练，将受到自身的限制。

脂肪（脂质）

尽管最近一些文献错误地支持高脂肪（例如从脂肪中摄入热量占总热量的 30%或更多）摄入好处，脂肪是一种高浓缩的燃料，但是，过量摄入不能提高运动成绩、改进身体成分或体重。成年人 AMDR（Acceptable Macronutrient Distribution Range，可接受的大营养素分配比例）中总脂肪摄入是总热量的 20%~35%，然而并没有科学资料显示：脂肪的热量摄入超过总热量的 25%对运动员更有益。但是，对于因大量能量消耗（如越野滑雪者）难以维持体重，或是必须维持高体重（如橄榄球队的前锋）的运动员来说，更高的（达到 AMDR 的极限值 35%）脂肪摄入也许是必不可少的。美国人从脂肪中摄入的能量很少低于总体能量的 35%，因此低脂肪摄入并不那么容易，除非采取措施从其他物质（主要是更多的复杂碳水化合物）中摄取足够的能量，以替代减少摄入的脂肪。否则，运动员就有可能身处能量负平衡状态，这对运动成绩将不利。因此，减少脂肪摄入通常是有益的，但当脂肪摄入减少时，必须有意识地做到供给足够的总体能量。由于脂肪产生的热量比蛋白质或碳水化合物（9 千卡 / 克，4 千卡 / 克）的高两倍多，因此应当摄入高于两倍的食物量，以补足脂肪减少造成的能量不足。

胆固醇、油类、黄油与人造黄油都是脂肪或脂质，但每种物质的特性略有不同。脂质共同的特征是它们都溶于有机溶剂，而不溶于水（任何试图混合意大利调味品的人都知道，无论如何使劲地摇动调味瓶，调味品中的油最终都会浮在上面）。脂肪一词通常应用于室温下呈固态的脂质。脂质最常用的摄入形式是甘油三酯，它由三个脂肪酸与一个甘油分子组成（甘油三酯因此而得名）。尽管脂质有多种形态，我们仍可以从食物中获得所有的脂质，并且还能够通过组合其他物质的碳单元来合成许多种脂质。身体中的每个细胞几乎都有制造胆固醇的能力，这就是为什么一个人即使是摄入低胆固醇膳食，也可能出现高血液胆固醇的原因。我们还可以制造磷脂、甘油三酸酯与油类。事实上，正是这种有效地制造出不同脂质的能力，限制了摄入大量脂质的必要性。

脂肪的功能

一定数量的脂肪（占摄入总体热量的20%~35%）是确保充足的能量与营养素摄入所必需的。脂溶性维生素A、D、E、K必须借助脂肪才能供给机体。特定的机体功能所需要、而自身又无法合成的必需脂肪酸，也是必须摄入的。在进食过程中，也需要一些膳食脂肪给予我们饱食感，并产生重要生理信号，该停止进食了。膳食脂肪比碳水化合物的胃排空时间长，这有助于我们产生饱足感。当然，脂肪还能使食物的味道更鲜美。

脂质的结构

脂质具有不同水平的饱和度，饱和度是指在碳链上所具有的双键的数量。没有双键的脂肪酸是饱和的，具有一个双键的脂肪酸为单一不饱和脂肪酸，具有多个双键的脂肪酸为多不饱和脂肪酸。单键比双键更稳定，具有较低的化学活性，因此双键的数量越多，脂肪酸与其化学环境发生反应的机会就越多。正是这种化学活性的差异，使得双键的数量成为人体营养学的一个重要因素。

饱和脂肪酸在动物性脂肪、棕榈仁油与椰子油中最为普遍。单不饱和脂肪在橄榄油与菜籽油中含量最高，也存在于动物性脂肪中。多不饱和脂肪在蔬菜油中含量最高（橄榄油除外，其含有高于75%的单不饱和脂肪）。在脂肪摄入不超过总能量35%的情况下，单和多不饱和脂肪应是摄入脂肪的主体。饱和脂肪酸与高胆固醇水平有关，因此应当尽量减少摄入。最好是通过减少动物性脂肪、巧克力糖（通常具有高含量的饱和热带植物油）、油炸食品与高脂肪乳制品的摄入来实现。

甘油三酯

我们摄入的脂质大多是甘油三酯，它含有三个脂肪酸与一个甘油分子（图1.3）。脂肪是以甘油三酯的形式储存的，当摄入过多的能量时，机体就会合成甘油三酯。在脂肪

组织（成群的脂肪细胞）与肌细胞内部（肌肉甘油三酯）储存甘油三酯，需要时两者都可以用做能量来源。当脂肪作为能量来源消耗时，甘油三酯便从储存中被调用，并分解为脂肪酸与甘油分子。接着，脂肪酸被分解（每次两个碳单位）并进入线粒体生成ATP，以产生热量并为肌肉活动提供能量。这个过程被称为β氧化代谢途径，因为脂肪的完全氧化除了需要碳水化合物以外，还需要氧。

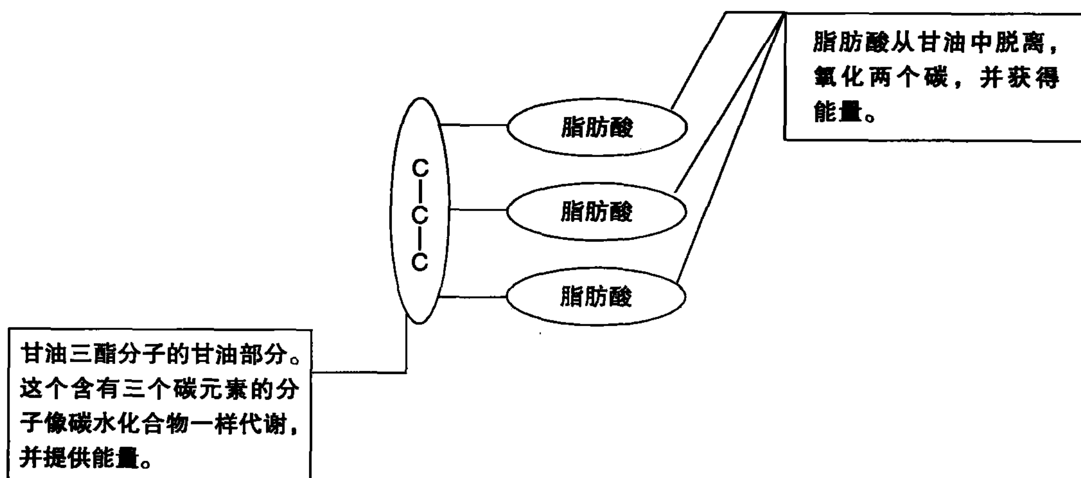


图 1.3 甘油三酯的结构

甘油是唯一一种像碳水化合物而不像脂肪那样燃烧的脂质，同时它还是一种有效的湿润剂（含有水）。一些耐力运动员发现，与单独摄入水比较，在水中添加甘油可以帮助他们保持更多的水分（如高效水合。甘油作为高效水合的更详细信息，请参见第4章）。在极度炎热与潮湿的环境中，水分的流失有可能高于运动员补充体液的能力，因此，在高效水合状态下开始比赛具有一定的优势。在关于网球与奥运会铁人三项研究中发现，当在高温下进行比赛时，赛前摄入甘油水溶液的运动员可以体会到超水合状态带来的好处[17，18]。但是，处于超水合状态可能会有一定程度的不舒适感，需要逐渐适应。运动员摄入含甘油的液体后，通常将体内含有额外水分的感觉描述为，使他们感觉“像个水袋”“很重”或“不灵活”。尽管如此，他们坚信比赛终点时的感觉比刚开始比赛时的感觉更重要，因此在赛前饮料中加入甘油，已经成为一些运动员的惯有程序。

必需脂肪酸

亚油酸（Ω-6）与亚麻酸（Ω-3）都是必需脂肪酸；虽然它们都是新陈代谢所必需的，但是我们无法自身合成。“Ω-6”族的定义是，这些多饱和脂肪酸的双键在从碳链末端数的第六位碳上。“Ω-3”族的定义是，这些多饱和脂肪酸的双键在从碳链末端数的第三位碳上。亚油酸是脂质膜的基本部分，为正常健康的皮肤所必需。亚麻酸是神经功能与生长所必需的。Ω-6与Ω-3脂肪酸的可接受的大营养素分配比例（AMDR）分

别是每天5~10克和0.6~1.2克[11]。两种脂肪酸都可以方便地从蔬菜油（玉米、红花、菜籽油等）与深海鱼油中获得。

最近有很多人关注富含Ω-3酸的鱼肝油。这种油已经被证明能够降低红细胞的凝集能力，因此减少了不必要的血栓的发生，从而降低了心脏病（通常由心脏一条主要动脉发生堵塞引起）发作的风险。深海鱼油是Ω-3脂肪酸二十碳五烯酸（EPA）与二十二碳六烯酸（DHA）的主要来源。即使每周只摄入一次深海鱼（大马哈鱼、长鳍金枪鱼、大西洋鲱）就足以大大降低心脏病发作的风险[11]。尽管有这些发现，过量摄入这种鱼油也可能会产生问题，包括增加细胞氧化造成的损害。最好的经验法则是，在每周膳食中定期摄入这种鱼，没必要再补充Ω-3脂肪酸。

脂肪的需求

从运动的角度来说，没有理由相信增加脂肪的摄入会提高竞技能力，除非脂肪摄入的增加是运动员获得充足能量的唯一合理的方式。对于每天需要4000多千卡热量来满足生长、运动与修复综合需要的运动员来说，适度增加膳食脂肪（最好源自植物和鱼类）或许是需要的。因为脂肪无论与碳水化合物还是蛋白质相比，能量的密度更大，如果食物中含有较多的脂肪，在较少的食物份额中就可以摄入更多的能量。如果运动员试图完全限制脂肪，那么需要进食的食物的量就会增大，以至于无法安排足够的餐数或进餐时间来获取所需要的能量，从而导致能量摄入不足。

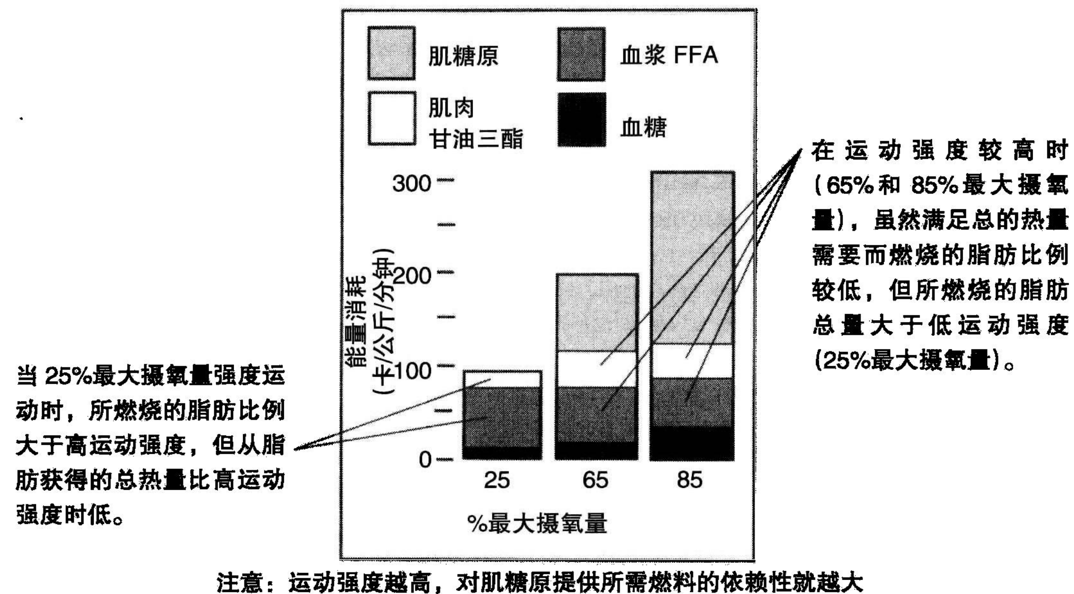
脂质与体育活动

即使是最精瘦、最健康的运动员也有一个可观的存储脂质能量库。脂肪组织的平均贮藏量范围在50000与100000卡之间或者是相当于维持步行或跑步500~1000英里（800~1600千米）的能量[19]。此外，运动员在肌肉组织中存储了2000~3000千卡脂质[20]。脂质以甘油三酯形式存储，并在氧气供给适当的条件下用做燃料。在60%~65%的最大摄氧量条件下，脂肪氧化率最高，但在更高水平最大摄氧量条件下，由于没有足够的氧气供应，所以不能从脂肪代谢中获得大多数能量。

脂肪组织中所存储的甘油三酯能分解为其组成成分甘油和脂肪酸，并运输到血浆中。甘油可用于所有组织的能量代谢，游离脂肪酸被输送到运动肌肉，进行氧化并释放能量。运动肌中储存的甘油三酯分解成甘油与脂肪酸，脂肪酸在其停留的部位被氧化并释放能量。甘油也能够在运动肌中被燃烧并释放能量，或者作为其他组织的能量来源被运输到血浆中。

运动强度越低，脂肪燃烧满足能量需求的比例越大。当运动强度增大时，脂肪燃烧的比例降低，而碳水化合物的燃烧比例增大。这就是为什么许多人都进行低强度活动来燃烧脂肪与降低身体脂肪的原因。但是，在不同强度的体育活动中，燃烧的脂肪比例不能与所燃烧的脂肪总量相混淆。当运动强度增大时，每单位时间所燃烧的热能总量也随之增加。在高强度活动中，虽然所燃烧的脂肪比例有所下降，但由于总体能量需求的增大，脂肪燃

烧的总量却增加了（图 1.4）。从这种代谢特点中，我们得到的值得借鉴的经验是，热衷于降低身体脂肪的运动员，在其优化所燃烧脂肪总量的过程中，应至少进行 65%最大摄氧量的运动。进行低强度运动虽然比高强度运动燃烧更高比例的脂肪，但总体脂肪燃烧量减少。



注意：运动强度越高，对肌糖原提供所需燃料的依赖性就越大

图 1.4 不同运动强度对能量物质的需求

Reprinted, by permission, from J.A. Romijn, A.F. Coyle, J.F. Horowitz, L.S. Sideossis, A. Gastaldelli, E. Endert and R.P. Wolfe, 1993, "Regulation of endogenous fat and carbohydrate in relation to exercise intensity and duration," *Am J Physiol Endocrinol Metab* 265: E380 391.

竞技状态与脂肪代谢

通过耐力训练计划提高运动员的耐力，能够提高细胞内线粒体（与相关的氧化酶）的大小与数量，提高运动员在体育活动中动用更多数量脂肪的能力。由于运动员所储存的脂肪热能远远大于碳水化合物热能，提高对脂肪的动用能力可以相应地减少对碳水化合物的依赖，因此可以提高耐力。简单地说，如果能够在高强度运动中消耗更多的脂肪，你就能使你的碳水化合物储存持续的时间更长，从而提高你的耐力（图 1.5）。

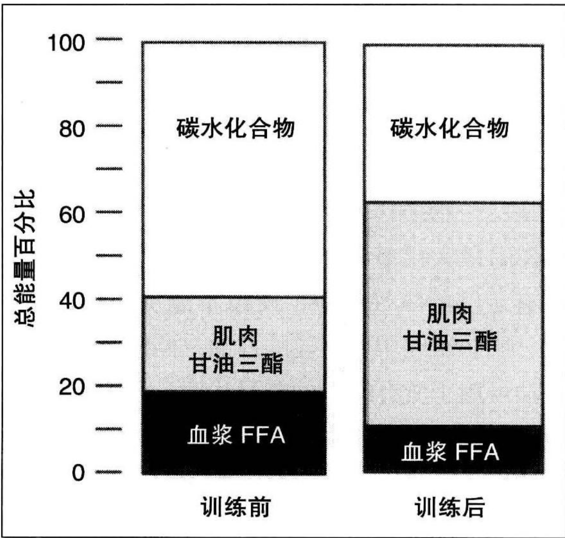


图 1.5 耐力训练后脂肪依赖性的变化

Reprinted, by permission, from W.H. Martin, 3rd, G.P. Dalsky, B.F. Hurley, D.E. Matthews, D.M. Bier, J.M. Hagberg, M.A. Rogers, D.S. King and J.O. Holloszy,1993, "Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise," *Am J Physiol Endocrinol Metab* 265: E708-714.

值得重点强调的是，在剧烈的运动中无法将脂肪的氧化提高到不需要碳水化合物（肌糖原）的程度。此外，脂肪代谢获取能量能力的增强，不应当成为促使运动员摄取更高比例脂肪的理由。假定热量摄取充足的情况下，运动员能够生成并储存所需的脂肪，那么摄入更多的膳食脂肪是引发动脉粥样硬化心脏病的绝对危险因素。与高碳水化合物摄入方式相比，即使是脂肪的摄入暂时增加，而碳水化合物摄入减少的情况仅仅持续3~5天，也会导致耐力水平的下降[21]。

中链脂肪酸（MCTs）

关于MCT（中链脂肪酸）（脂肪酸链在6~12个碳原子范围的甘油三酯）对运动员可以产生有益的效果，有相互矛盾的说词。MCT能够被直接地吸收，并迅速代谢成脂肪酸与甘油。它可以方便、迅速地被氧化并释放能量，从代谢效果上看特别像碳水化合物，而非脂肪。也有一些证据表明，它增强了脂肪从储存到作为能量燃烧的活性，提高了能量燃烧的速率（例如，更高的能量代谢水平）[22-25]。在一项评价碳水化合物以及碳水化合物加MCT对自行车计时赛成绩影响的研究中，碳水化合物组提高了100公里路程的成绩，而碳水化合物加MCT组没有进一步提高成绩[26]。另一项研究表明，MCT摄入时间的选择是影响耐力成绩的一个重要因素。在计时赛前摄入400毫升（13.5盎司）3.44% MCT溶液，并在计时赛过程中添加10%的葡萄糖溶液，能够提高整个计时赛中的表现[27]。可以得出如下结论，降低对糖原的依赖性，提高对脂肪（MCT）的依赖性，是成绩明显提高的原因。相反的研究结论显示，对于训练良好的男性长跑运动员来说，定期摄入MCT既不能提高耐力，也不会改变能量代谢[28]。另外，有些证据表明，补充MCT能够改变血液的脂质饱和度，有家族心脏病史的运动员应当对此予以认真地考虑[29]。

摄入MCT可以对维持理想身体成分有困难的运动员产生良好效果。健康人摄入5~10克（45~90千卡）MCT，会体验到食物特殊动力作用比摄入相当数量的长链脂肪酸（是食物中常见的脂肪形式）要强烈，而这种更强烈的生热作用能够刺激体重的减少[30, 31]。

虽然MCT不集中存在任何食物中，但在许多物质储备中都存在，而且由于是饱和的，所以它很稳定，保存期也很长。对于总能量摄入很难充足的运动员来说，摄入2~3大汤匙（30~45毫升）MCT或许是有益的。MCT与其他脂肪的燃烧情况不一样，因此对于难以摄取足够热量的运动员来说，摄入少量这种物质是确保满足其需要的好方法。

需要注意的是，对大多数运动员来说，MCT的最大摄入量不得超过30克（270千卡）。超过这个数量就会极大增加肠胃不适（包括腹泻）的风险[32]。因此，MCT在提高总体能量摄入方面存在一定的限制。

Ω-3脂肪酸

有些人已经关注到Ω-3脂肪酸对于竞技能力的潜在益处。根据Bucci的理论[33]，这些潜在益处包括如下几点：

- 降低血液的黏性，改善氧气与营养素向肌肉与其他组织的运输。
- 向细胞运送的氧气增加，改善有氧代谢。
- 增加生长激素对正常刺激（如运动、睡觉与饥饿）反应时的分泌，从而起合成作用或改善运动后的恢复时间。
- 减少肌肉疲劳与用力过度而引起的炎症，缩短运动后恢复时间。
- 可以防止组织炎症。

一般来说，对 Ω–3 脂肪酸价值的研究并没有显示出在力量与耐力方面的持续改进，也没有一致的证据表明 Ω–3 脂肪酸能够降低肌肉疼痛[34-36]。摄入 Ω–3 脂肪酸的主要作用，似乎是能够增强机体有氧代谢能力，这对于竞技能力和脂肪供能能力的提高有着很重要的意义。但这并不表明，脂肪摄入总量的增加对于获得这些益处是理想的或必要的。相反，更高水平的脂肪摄入与竞技能力的降低恰恰是相关联的。但是，运动员可以考虑更换所摄入脂肪的种类，并通过在膳食中有规律地（每周一次或两次）增加进食 4~5 盎司（110~140 克）大马哈鱼、金枪鱼、大西洋鲱与其他深海鱼，以提高 Ω–3 脂肪酸的供给比例。

蛋白质

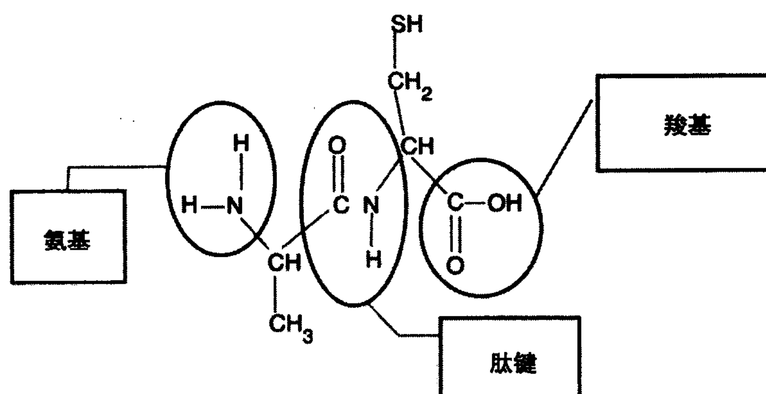
许多运动员认为蛋白质是取得运动成功的关键。很难找到拒绝蛋白质补充的力量型运动员，多数补充蛋白质的运动员，确信他们的成功归因于（至少部分归因于）额外的蛋白质。事实上，多数运动员摄入的蛋白质过多，这样做降低了其对于取得运动成功至关重要的其他基本营养素的摄入。简单地说，一种营养素摄入过多，会减少其他同样重要的营养素的摄入。

特别需要更多蛋白质（总体能量摄入的百分比）的运动员，在通常情况下摄入的蛋白质相对较少。耐力运动员比力量型运动员看起来要瘦，且不如其强壮。由于他们在正常的耐力训练中需要燃烧一定水平的蛋白质，所以需要的蛋白质量几乎与力量型运动员一样多（每单位体重）[37, 38]。相反，力量型运动员通常摄入的蛋白质比所需要的要多得多，而且更糟的是，有许多运动员摄入蛋白质粉或氨基酸补剂，来进一步提高他们的蛋白质摄入量[39]。鉴于 30 克肉提供大约 7000 毫克脂肪酸，而一种典型的脂肪酸补剂的供应量仅在 500~1000 毫克之间，所以，许多运动员所遵循的蛋白质摄入策略是不合理的。

蛋白质的功能

蛋白质进入机体后被消化成氨基酸，这些氨基酸结合体内分解的其他氨基酸组成氨基酸池（氨基酸的结构描述，见图 1.6）。组织从池中摄取氨基酸，并合成身体需要的特定蛋白质（肌肉、毛发、指 / 趾甲、激素、酶等）。如果其他燃料（碳水化合物

与脂肪）不能满足能量需要，这个氨基酸池还可以提供燃烧的能量（通过一种去氨基过程）。



图例：丙氨酸的化学结构（注意，通过葡萄糖-丙氨酸循环，两个丙氨酸分子经过脱氨基作用在肝脏中结合，生成葡萄糖。生成新葡萄糖的过程被称为糖异生）。

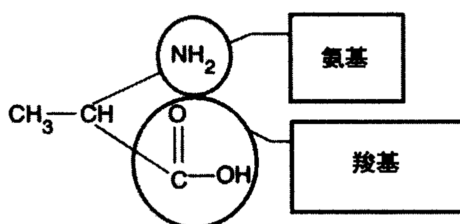


图 1.6　氨基酸的典型结构

蛋白质的主要功能如下：

1. 蛋白质提供能量生成反应所需的碳源。某些氨基酸可以转化成葡萄糖，代谢后提供 ATP，而其他的氨基酸可以作为脂肪存储起来，随后进行代谢并提供 ATP。

2. 在控制血液与机体组织的液体容积与渗透压方面，蛋白质是很重要的化合物，这种功能是维持水平衡的重要调控因素。

3. 蛋白质是两性化合物[40]，能够在酸性与碱性环境中起缓冲作用，以维持最优化的血液 pH 值。

4. 蛋白质是抗体的主要成分，对于维持健康至关重要。

5. 蛋白质能生成酶，酶参与消化和其他生成所需化学终产物的细胞进程。

6. 蛋白质是机体组织、心脏、肝脏、胰腺等器官、肌肉和骨骼的极其重要的组成成分。

7. 蛋白质是血液中“精明的”物质搬运工，能将物质准确运送到受体的位置。例如：铁蛋白是运送铁的蛋白质。

8. 蛋白质能够合成控制机体功能的特定激素（如胰岛素）和神经递质（如 5-羟

色胺）。

氨基酸与蛋白质功能概述，见表 1.9。

表 1.9 氨基酸与蛋白质的功能

机能蛋白质（产生血色素、酶和激素；维持正常的血液渗透压；生成抗体；作为能量来源被使用）	酶
	抗体
	转运蛋白
	激素
结构蛋白质（构成细胞结构；帮助组织生长、修复与维持）	肌肉、腱、韧带
	皮肤
	骨骼与牙髓
	毛发与指/趾甲

蛋白质代谢

蛋白质由碳、氢、氧、氮以及硫（在某些情况下含硫）组成。蛋白质是唯一含氮的营养素，这一点使得它既是必需的物质，又具有潜在毒性。氨基酸结构单元组成更大分子结构的蛋白质。其中一些氨基酸可以由另外一些氨基酸合成获得，被称为非必需氨基酸；而有些氨基酸则必须从我们所摄入的食物中获得，被称为必需氨基酸。由于非必需这个词暗示着虽然它们存在，但并不真正需要，所以关于必需氨基酸与非必需氨基酸的说法很容易混淆。但是，实际情况是，必需氨基酸与非必需氨基酸在人类的新陈代谢过程中同样重要（因此同样是必需的）。必需氨基酸与非必需氨基酸列表，见表 1.10。

表 1.10 非必需氨基酸和必需氨基酸

非必需氨基酸（可由机体从其他氨基酸合成）		必需氨基酸（机体不能合成；必须从摄入的食物中获得）	
氨基酸	缩写	氨基酸	缩写
丙氨酸	Ala	组氨酸[a]	His
精氨酸[CE]	Arg	异亮氨酸[BC]	Ile
天门冬酰胺酸	Asn	亮氨酸[BC]	Leu
冬氨酸	Asp	赖氨酸	Lys
半胱氨酸[CE]	Cys	蛋氨酸	Met
谷氨酸	Glu	苯基丙氨酸	Phe
谷酰胺[CE]	Gln	苏氨酸	Thr
甘氨酸[CE]	Gly	色氨酸	Trp
脯氨酸[CE]	Pro	缬氨酸[BC]	Val
丝氨酸	Ser		
酪氨酸[CE]	Tyr		

[BC] 支链氨基酸。

[CE] 条件的必需氨基酸（在一定的代谢条件下，摄入这些氨基酸可能是必需的）。

[a] 组氨酸与其他 8 种必需氨基酸不同，当膳食中不摄入该种氨基酸时，亦不会引起蛋白质不足（即负氮平衡）。

氨基酸组合在一起形成更大分子的蛋白质，而氨基酸的排列顺序以及蛋白质的二级与三级结构决定了它的功能。当摄入膳食蛋白质时，蛋白质被消化成多肽（小的蛋白质分子），并最终分解为独立的氨基酸。氨基酸被血液吸收，通过血液输送到不同的组织，并被加工成为机体需要的蛋白质。为了确保组织能够生成所需要的蛋白质，必需氨基酸必不可少。有些人认为，如果你想拥有看起来健康的头发与指甲，你就应摄入与头发和指甲主要组成成分相同的蛋白质（凝胶）。凝胶是一种低品质的蛋白质，必需氨基酸的含量很少，因此不会促进最佳蛋白质合成。简单地说，进食头发与指甲不会促进头发与指甲的最佳合成。保证所需蛋白质合成的最好方法是，向细胞提供所有的必需氨基酸，以生成各种机体需要的蛋白质。

有几种氨基酸对中枢神经系统有特殊的功效（表 1.11）。基于这些已知的效果，为了进行成果推广，已经有单品氨基酸在出售。例如，作为促进放松与睡眠的制剂，色氨酸已经在销售。尽管如此，向人们推荐高剂量的单品氨基酸的危险性极大。因此，除非在药剂师的严格监督之下，否则不得进行。最好的方法是从膳食中获取尽可能丰富的氨基酸供应，以使组织合成各自所需要的氨基酸，并优化身体功能。

表 1.11 含有神经递质产物和功能的氨基酸

氨基酸	产物	功能
色氨酸	5–羟色胺 褪黑素	情绪、疼痛、食物摄入、警觉
酪氨酸 苯基丙氨酸	多巴胺 去甲肾上腺素 肾上腺素	运动控制、情绪、警觉、注意力、焦虑
组氨酸	组胺	食物摄入、警觉、体温调节
精氨酸	一氧化氮	警觉、焦虑、记忆
苏氨酸	甘氨酸	运动控制

肝脏是合成蛋白质重要的加工场所，不断调节着机体蛋白质的需求，并为满足机体各种需求合成氨基酸与蛋白质。蛋白质的合成是通过转氨作用与去氨基反应实现的。在转氨基作用中，氨基酸中的氮被用来生成另一种氨基酸；在脱氨基反应中，从氨基酸中脱去氨基，并转化成氨（图 1.7）。剩余的碳架或重组为脂肪存储，或转化成葡萄糖（丙胺酸和谷氨酸），或被燃烧释放能量。在脱氨基反应中产生的氨对身体有一定毒性，但是肝脏中的酶能够将氨转化成尿素。尿素是通过尿液从身体排出的。因此，摄入的额外

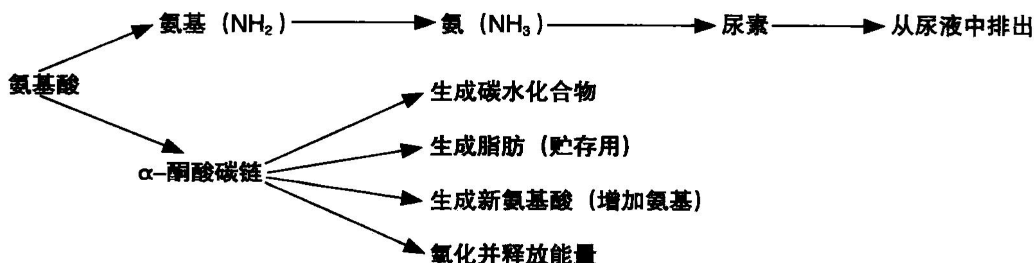


图 1.7 去氨基作用与剩余碳架的重组

蛋白质越多，需要从机体中排出的氮（尿素）就越多，而且剩余的脱掉氨基的碳链大部分以脂肪的形式储存。

蛋白质的需求

每克蛋白质大约产生 4 千卡的热量，其能量密度与碳水化合物相同。普通人蛋白质摄入的推荐量为总热量的 12%~15%。因此，每天消耗 2000 千卡热量的人，每天所需要的能量蛋白为 240~300 千卡（60~75 克）。多数非运动员每公斤体重消耗 0.8 克的蛋白质即可满足日常需要。根据这一原则，一位 165 磅（75 公斤）的非运动员每天所需要的蛋白质量为 60 克。如果以公斤体重的蛋白质需要量为单位来计算，由于运动员所含有的去脂体重与组织修复的蛋白质需求较高，而且在体育活动中需要燃烧少量的蛋白质，因此，运动员的蛋白质需求量也较高。这使得运动员对蛋白质的需求量大概是非运动员的两倍（每公斤体重 1.2~1.7 克）。因此，一位 165 磅（75 公斤）的运动员每天所需要的蛋白质量为 120 克（480 千卡能量）。虽然每天摄入 120 克的蛋白质看起来很多，但只占每天总能量消耗相对较少的比例，而且可以轻易地从 2005 年美国人膳食指南（Dietary Guidelines for American）[41] 中获得指导。类似的指导都注重一个前提，即可以并且应当主要通过食物的摄入来满足营养素的需求。与蛋白质比较，碳水化合物最小的推荐摄入量是每公斤体重 30 千卡，因此，这位体重为 165 磅（75 公斤）的人仅对碳水化合物的需求量就相当于 2250 千卡热能（2000 千卡用餐计划的蛋白质含量见表 1.12）。

表 1.12 2000 千卡热能用餐计划的蛋白质含量

食物	千卡	蛋白质（克）
橘子汁（1 杯）	112	1.74
碎麦粒面包，烤过的（2 片）	132	4.37
草莓酱（1 大汤匙）	55	0.12
煮熟的蛋	88	6.29
烤牛肉三明治（1 个三明治，普通的）	346	21.5
低脂（1%）牛奶（1 杯）	102	8.03
苹果，未加工的	87	0.26
小份拌沙拉（3/4 杯）	27	1.3
色拉味调料（1 大汤匙）	67	0.09
碎巧克力饼干（5 小块）	125	1.43
多加力运动饮料（500 毫升）	100	–
鸡胸，烤好的（1 / 2 鸡胸）	152	26.67
花椰菜（1 / 2 棵）	22	2.32
烤土豆	145	3.06
法式面包棒（2 片）	203	6.37
香草冰淇淋（1 / 2 杯）	135	2.4
总计	1898	85.95

注：一位 120 磅的运动员每公斤体重大约需要 1.5 克的蛋白质。可以采用将磅除以 2.2 的方法，将磅换算成公斤（120 / 2.2=55 公斤）。然后将千克乘以 1.5（55 × 1.5=82.5）。那么这位 120 磅重的运动员每日蛋白质需求量为 82.5 克（330 卡）。本份 2000 卡的用餐计划所提供的蛋白质比实际需求量多 10 克左右。

与非运动员相比，运动员需要摄入更多的蛋白质，理由如下：

- 在训练过程中，氨基酸（来自蛋白质）供能占燃烧燃料的5%~15%。当肌糖原减少时，用于提供能量的蛋白质则会增加。通常认为，耐力训练比力量训练消耗更多的糖原，因此耐力运动容易引起高比例的蛋白质消耗。
- 运动会造成肌肉损伤，组织修复增加了蛋白质的需求量。
- 耐力训练可能会造成少量蛋白质流失在尿液中（而在无训练时，尿中通常没有蛋白质或几乎没有蛋白质）。

尽管运动员对蛋白质的需求量有所增加，但多数运动员摄入蛋白质（仅从食物中）的量比他们实际需要的多得多。从一些经常摄入食物的蛋白质含量，就证明了这一点。尽管多数运动员在摄入足够的蛋白质方面并无困难，但是对以下几类运动员的蛋白质摄入应进行细致监测，因为对他们来说或许很难摄取足够的量：

- 有训练和生长发育双重需求的年轻运动员
- 为达到理想体重与体型而节食的运动员
- 不吃肉、鱼、鸡蛋或奶制品的素食运动员
- 由于宗教或文化原因限制食物摄入的运动员

如上所述，我们可以从蛋白质中获取能量（千卡）。但是，把蛋白质作为燃料进行燃烧，就像用家传钻石来点缀早餐食品，虽然你认为这样做提高了早餐的质量，但这完全是资源浪费。蛋白质对于生成并维持组织以及制造激素与酶非常重要，将其作为燃料燃烧是非常浪费的。而且，当蛋白质用作燃料燃烧时，必须从氨基酸链中除去氮并排泄掉。当需要增加对含氮废物的排泄时，必须补充从尿液中流失的水分。这样，就会导致两种不良结果：蛋白质由于燃烧而浪费掉；并且由于含氮废物排泄的过程中，增加了水分流失，从而增加了脱水的风险。此外，高蛋白饮食增加了钙元素在尿液中的排泄量（对于面临骨骼疾病风险的中老年女性来说，这是一个值得注意的问题）。另一个潜在的问题是，高蛋白饮食中的脂肪含量也会偏高，这就可能增加罹患心血管疾病的风险。因此，确保满足机体蛋白质需求的最佳方法是摄取充足的、富含碳水化合物的食物，及少量奶制品和肉类（如果为素食主义者，则应摄取充足的豆类食品）。蛋白质的植物来源见表1.13。

表1.13 蛋白质的植物来源

来源	举例
谷物	大麦 小麦片 玉米 大米 燕麦 意大利面
豆类	干豆荚 小扁豆 干豌豆 大豆
种子与坚果	巴西坚果 腰果 花生 芝麻 核桃
蔬菜（与以上所列的其他来源相比，蔬菜的蛋白质含量要少得多）	花椰菜 胡萝卜 土豆 西红柿

单一食物中，肉类与奶制品能够提供所有必需的氨基酸，但是植物来源的蛋白质却不能。因此，素食者应注重食物的多样化，以优化机体必需氨基酸的可用性。保证摄取合理比例的必需氨基酸的一般规律是，在同一餐中混合进食谷物与豆类。谷物与豆类都是缬氨酸、苏氨酸、苯基丙氨酸与亮氨酸的优质来源。玉米与其他谷物含的异亮氨酸与赖氨酸较少，而色氨酸与蛋氨酸含量却很丰富。相反，豆类富含异亮氨酸与赖氨酸，而色氨酸与蛋氨酸含量却很少。通过同时摄取谷物及豆类，使两种食物中的氨基酸优势互补，从而提供优质的蛋白质。

蛋白质与体育运动

很大程度而言，蛋白质的利用是总能量摄入不足的结果。运动员总能量摄入不足会导致机体燃烧蛋白质以提供能量，这样用于其他重要功能的蛋白质就会减少。因此，运动员对蛋白质的需求量（即，总热量的12%~15%或每公斤体重1.2~1.7克）是建立在总能量摄入充足的基础上的。

营养学的一个标准原则是，碳水化合物具有节约蛋白质的作用。这意味着，如果能够向机体提供充足的碳水化合物，蛋白质则不用于提供能量，而是用于更重要的功能。研究发现一般蛋白质的最大非能量利用率约为每公斤体重1.5克[37-39]。如果超出这个数值，机体组织就会将多余的蛋白质转化为脂肪储存，或是用于提供能量。这两种情况下，都必须从氨基酸中去除氮，而且这种含氮的废物也必须排出体外。实际上，所有有关运动员总能量摄入的研究都已表明，运动员所摄入的总能量低于满足其运动、生长与组织功能所必需的多种需要。由于蛋白质燃烧会产生许多代谢废物，因此，提供更加清洁燃料——碳水化合物是满足能量需求的最佳方法。

大多数运动员需要保持机体的氮平衡，即机体摄入的氮等于机体排出的氮。负氮平衡是指，机体排出的氮大于摄入的氮，这种情况不可避免地会导致肌肉流失。正氮平衡表示，机体摄入的氮大于排出的氮，这种情况表明肌肉有一定增长。关于非运动员成年人维持氮平衡所需要蛋白质的量，目前已有很成熟的研究，并且已经确定了蛋白质摄入标准是每天0.8克/公斤体重。而运动员需要的蛋白质摄入范围在每天1.2~1.7克/公斤体重。有关运动员与非运动员的推荐量都是建立在满足能量需求的总热量摄入基础之上的。

运动员的推荐量较高是依据四个因素[37，39，42]：（1）一般运动员的去脂体重较多，需要更多的蛋白质来维持；（2）运动员在尿中流失少量的蛋白质（强度越大，持续时间越长，蛋白尿就越多），而非运动员不存在这种情况；（3）体育运动中，运动员“燃烧”少量的蛋白质（大约占总能量的5%）；（4）运动员需要额外的蛋白质来修复训练中损伤的肌肉（表1.14）。

美国医学研究所曾宣称定期锻炼的健康成年人不需要额外的蛋白质，因为锻炼提高了蛋白质的存留。但是，美国运动医学院与美国膳食营养协会都建议，运动员的蛋白质推荐范围是1.2~1.7克/公斤体重。现实生活中，多数运动员所摄入的蛋白质远远大于

表 1.14 运动员的蛋白质需求

运动员类型	总能量（千卡 / 天）	蛋白质		
		克 / 千克 / 天	克 / 天	%总热量 / 天
耐力[a, b]	3800	1.2 ~ 1.4	84 ~ 98	9 ~ 10
力量[a, c]	3200	1.6 ~ 1.7	112 ~ 119	14 ~ 15

[a] 表示静息能量消耗为 40 千卡 / 公斤体重。
[b] 代表以 6 分钟 / 英里的速度每天跑 10 英里（16 公里/天）的男性长跑运动员。
[c] 表示抗阻训练中每天每公斤体重额外消耗 6 千卡的热量。
Reprinted, by permission, from Dr. M.J. Gibala, 2002, "Dietary protein, amino acid supplements, and recovery from exercise," *GSSI Sports Science Exchange*, #87, 15(4).

他们的需求量，甚至大于最大的推荐量 1.7 克 / 公斤体重。一些力量型运动员定期摄入蛋白质推荐量（0.8 克 / 公斤体重）的 300%~775% [43, 44]。但对于素食运动员以及靠裁判员主观打分的运动员（如体操运动员、跳水运动员、花样滑冰运动员），由于他们需要维持较低的体重，上述情况会有例外。

蛋白质的氧化作用在短时间、高强度的运动中并不明显，但在耐力训练中，蛋白质提供总能量需求的 3%~5% [45, 46]。当糖原水平低、血糖低、训练强度大，或是训练持续时间长时，蛋白质的动用会高达总能量需求的 5%甚至更多。

普遍存在这样一种误解，单靠额外的蛋白质摄入即可维持更高的肌肉量，这种理论是许多运动员进行高蛋白摄入的主要理由。事实上，更多的肌肉量需要提供额外的总热量，而蛋白质需提供同样相关比例的额外热量。例如，如果一位 75 公斤（165 磅）重的男子要增加 3 公斤（6.6 磅）肌肉量，每增加 1 公斤肌肉量，每天需要额外摄入大约 1.5 克蛋白质，这说明每天仅需要总计 4.5 克的额外蛋白质来保证需增加的肌肉量。有所不同的是，每增加 1 千克肌肉量却额外需要碳水化合物 30 克，或者总计需要 90 克额外碳水化合物，来保证增加的肌肉量。下面是增加肌肉量所需的额外总热量：

- 4.5 克蛋白质 × 4 千卡 / 克=18 千卡来自蛋白质
- 90 克碳水化合物 × 4 千卡 / 克=360 千卡来自碳水化合物
- 总体额外热量=378 千卡 / 天上述需求量来支持所增加的 3 公斤的肌肉量

当然，这名运动员还需要进行适当的力量训练来刺激肌肉的增长。否则，额外的热量将以脂肪的形式储存起来，而不是增长肌肉。许多运动员摄入大量蛋白质表示他们需要额外的热量来维持或增加肌肉量。虽然将蛋白质作为主要能量来源是可能的，但是由于蛋白质氧化伴随废物氮的产生，因此并不是最理想的能量来源。此外，以补剂形式提供的蛋白质，是昂贵的热量来源。例如：鸡蛋（一种特别优质的蛋白质来源）中每 8 克蛋白质大约花费 13 美分，而蛋白质胶囊每 8 克花费是 1.2 美元，并且其中蛋白质的质量可能还存在问题。

高蛋白食物胃排空时间较长，因此在训练之前或过程之中不推荐摄入。另外，向含有葡萄糖与苏打的运动饮料中添加蛋白质，对强化耐力与力量没有任何作用。事实上，向比赛过程中使用的运动饮料中添加蛋白质，会增加胃肠不适，并可能延迟液体与碳水

化合物向需要能量补给的肌肉的供应。运动饮料中所添加的蛋白质减少了运动员真正需要的物质：液体、碳水化合物与电解质。因此，对于训练前进餐与训练过程中液体的补充，大多数能量应来自碳水化合物。

越来越多的证据表明，尽管为提高糖原存储而在训练后摄取充足的碳水化合物，会使蛋白质的益处降低，但是，在训练后的食物与饮料中添加少量蛋白质，仍有助于肌肉的恢复（图 1.8）[47]。

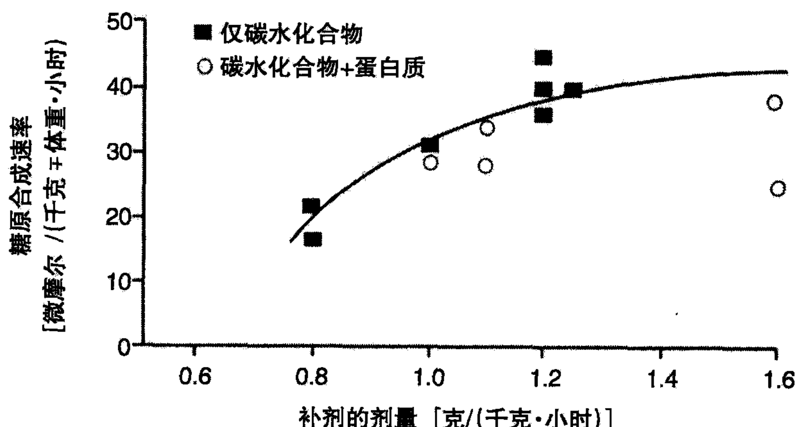


图 1.8 训练后补充碳水化合物与蛋白质对糖原合成的影响

Reprinted, with permission, from Dr. M.J. Gibala, 2002, "Dietary protein, amino acid supplements, and recovery from exercise," *GSSI Sports Science Exchange*, #87, 15(4).

抗阻训练后，饮用含有蛋白质约 0.1 克 / 千克（体重 75 公斤的运动员需 30 千卡的蛋白质）的饮料，确实看似可以改善肌肉的蛋白质平衡[48, 49]。耐力型运动员的常规做法是，训练后第一个 3~5 小时内，以每小时 1.2 克 / 公斤体重的最小速度摄入碳水化合物。这种方法能够保证及时补充肌糖原。在这种碳水化合物混合物中添加一些蛋白质，也许更有助于肌肉恢复，但是很显然，训练后的物质补充应主要来自碳水化合物。

2 维生素与矿物质

维生素与矿物质对于能量物质代谢、组织构建、细胞内与细胞外环境的液体平衡，以及代谢作用所需氧气和其他元素运送都是必不可少的。此外，维生素与矿物质还有助于降低运动员由训练引起的氧化应激。由于运动员能量代谢率较高、肌肉与骨骼应激较大，所以与非运动员相比，需要更多的维生素与矿物质。但是，对于个体所需维生素与矿物质的量，以及保证机体正常水平的最佳供给系统，多数运动员并没有充分地理解，他们通常错误地认为应当通过服用高剂量补充剂，来提供大量的维生素与矿物质。加之，现在一些公司在运动饮料中选择性地添加维生素，而没有充分考虑它们对于增加液体的渗透压与降低向运动肌肉运送液体速度的影响。这一做法的最终结果是维生素与矿物质的摄入过多，并且使液体运送质量降低。

本章将讲述运动时维生素与矿物质的需求量、这些营养素的功能，以及确保运动员免遭营养素过量或不足所带来的细胞应激，获得其所需的最佳补充策略。美国医学研究所已经确定了营养素摄入的适当标准（表 2.1）。这些被称为膳食参考摄入量（DRIs）的标准，是依据平均需要量（EAR）、推荐膳食供应量（RDA）、充足摄入量（AI）与可耐受最高摄入量（UL）而制定的。尽管推荐膳食供应量（营养素摄入适宜量的早期标准）的主要目的是，降低人们患营养不良症的风险，而 DRI 则是通过确保合理平衡的营养摄入降低慢性病的发生。

表 2.1 膳食参考摄入量的定义

膳食参考摄入量（DRIs）是对营养素摄入的量化估计，用于健康人膳食的设计与估算。这些数值包括推荐的摄入量与可耐受的最高摄入量。膳食参考摄入量是由美国医学研究所确定的，该研究所是一个向美国国家科学院（National Academy of Sciences）提供健康政策建议的非营利性组织。膳食参考摄入量是基于对推荐膳食供给量、适宜摄入量、可耐受最高摄入量以及估计的平均需要量进行科学评估而制定的。

- 推荐膳食供应量（RDA）：每日的平均膳食摄入量可以满足特定的年龄段与性别群组中几乎所有健康个体的营养需求（97%~98%）。
- 充足摄入量（AI）：每日建议营养素摄取平均水平，根据对一组（或多组）健康人进行观察或者试验得出的平均营养素摄取推荐数量的大约近似值或估计值——当无法确定 RDA 时使用。
- 可耐受最高摄入量（UL）：每日营养素的最高摄入量，对普通人群的几乎所有个体不会产生不良的影响。如果摄入量大于 UL，就会增加产生不良影响的潜在风险。
- 平均需要量（EAR）：每日营养素平均摄入量，满足某个年龄段与性别群组中半数健康个体的需要——用以评估膳食的适宜度，并用做 RDA 的依据。

维生素

维生素是细胞所需的用来促进特定的化学反应的物质。一些维生素（尤其是 B 族维生素）参与能量反应，细胞通过这些能量反应从碳水化合物、蛋白质与脂肪中获得能量。由于运动员比非运动员能量代谢水平高，所以此类维生素是本书关注的重点。其他维生素与维持矿物质的平衡有关。例如：维生素 D 能促进膳食中钙与磷的吸收。维生素与矿物质的协同作用是理解其营养需求的关键因素。这些营养素的综合作用，要求运动员摄入种类尽可能丰富的维生素与矿物质。补充单种维生素或单种矿物质可能会破坏营养平衡以及这些营养素之间的关系。摄入维生素的最佳方式见表 2.2。

表 2.2 摄入维生素的最佳方式

从膳食中以最佳方式摄入维生素，应当尝试以下几点：

- 吃颜色种类丰富的蔬菜与水果。
- 尽可能地吃新鲜的水果与蔬菜，特别是应季果蔬。
- 蔬菜不要炒得过熟——长时间烹炒会使营养成分降低。
- 蒸或者微波蔬菜，而不是煮——维生素会溶到沸水中并进入下水道。

水溶性维生素

维生素分为脂溶性与水溶性两种。脂溶性维生素需要在脂肪的环境中发挥作用，而水溶性维生素则需要水环境。在某种程度上，我们具有存储所有维生素的能力。这就是说，如果两天前我们用餐时摄入了富含维生素 C 的食物，即使在昨天所摄入的食物中没有维生素 C，今天也不会有维生素 C 缺乏的症状。尽管没有专门的可以贮存大量维生素的场所，对于需要维生素 C 的细胞来说，往往有多于其需要量的贮存能力。然而，脂溶性维生素确实具有较大的贮存能力。正是由于这种在贮存能力上的差别，人们通常认为，由于水溶性维生素不能存储，每天都可能完全消耗，所以应该每天补充。这也导致了这样一种误解，即水溶性维生素无论怎么过量摄入都没有问题，因为多余的部分会通过尿液排泄掉。过量摄入脂溶性维生素（特别是维生素 A 与 D）会产生严重的毒性，这是毋庸置疑的。同样，过量摄入水溶性维生素也会引发难题。这种现象最好的例证是周围神经病变（手指感觉能力丧失），一种过量摄入维生素 B_6（每天摄入 500 毫克足以对机体产生永久性的损伤）而导致的神经问题。另一个问题是，摄入适当。这是因为，你服用得越多，你就可能需要更多来获得同样的生物效应。下面将逐个讨论水溶性维生素。相关维生素的功能、来源以及可能引发的问题，见表 2.3~表 2.11 [1]。

维生素 B_1

维生素 B_1（硫胺素）存在于多种食物中，包括全谷类、坚果、豆类（豆荚与干豌豆）和猪肉。它与其他 B 族维生素协同工作，将摄入的食物能量转化成肌肉能量与热量。在这个代谢过程中，硫胺素通过其活性辅酶焦磷酸硫胺素（TPP）去除能量反应中的二氧化碳而起作用。辅酶焦磷酸硫胺素是碳水化合物代谢中特别重要的一种酶。

表 2.3 维生素 B_1 快速指南

别称	硫胺素
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：1.2 毫克 / 天 成年女子：1.1 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	1.5~3.0 毫克 / 天，根据所消耗的总热量而定（高热量=消耗更多）
功能	糖代谢、神经系统功能
含量丰富的食物来源	全谷类食品、豆类、猪肉、强化谷物
营养缺乏症状	精神不振、食欲减退、虚弱、小腿疼痛、心脏疾病
毒性	尚不明确（没有确定安全上限）

目前尚未有运动员硫胺素缺乏的报道，但在酗酒者与进食非强化精白米或其他加工的非强化谷物的低质量饮食人群中，确实存在营养缺乏症。硫胺素的膳食参考摄入量（男子 1.2 毫克 / 天，女子 1.1 毫克 / 天）对于运动员来说可能不足。实际的需求量可根

据每消耗 1000 千卡大约需要补充 0.5 毫克硫胺素而确定，而运动员通常消耗的热量大于 3000 千卡（通常为 5000~6000 千卡）。由此看来，即使运动员每天热量消耗超过 6000 千卡，硫胺素摄入量的上限也仅为 3.0 毫克 / 天。因此，建议高能量消耗的运动员摄入两倍的膳食参考摄入量（2.2~2.4 毫克 / 天）是合理的。运动员通常进食富含硫胺素的高碳水化合物类食物，所以大多数营养充足的运动员每天摄入的硫胺素很可能已经大于推荐水平。

维生素 B_2

维生素 B_2（核黄素）通过其辅酶黄素腺嘌呤二核苷酸（FAD）与黄素单核苷酸（FMN）参与能量产生和正常的细胞活动。这些辅酶主要参与从摄入的碳水化合物、蛋白质与脂肪中获取能量。含核黄素的食物来源包括奶制品（如牛奶、酸奶、松软干酪）、深绿色叶蔬菜（如菠菜、甜菜、芥菜叶、花椰菜、青椒）、全谷物食品与强化谷物食品。

表 2.4　维生素 B_2 快速指南

别称	核黄素
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：1.3 毫克 / 天 成年女子：1.1 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	1.1 毫克/1000 卡
功能	能量代谢、蛋白质代谢、皮肤健康、眼睛健康
含量丰富的食物来源	新鲜牛奶与其他奶制品、鸡蛋、深绿色叶子蔬菜、全谷类食品、强化谷物
营养缺乏症状	舌体发炎；嘴角、鼻角与眼角皮肤干裂；强光敏感性、虚弱、疲劳
毒性	尚不明确（没有确定安全上限）

没有充分的研究证明，运动员普遍存在核黄素不足症状。而且食用超过 DRI 的剂量，也没有明显的毒性症状发生。几项研究表明，运动员需求量应当大于 DRI，DRI 是根据大约 0.6 毫克 / 1000 千卡的量确定的。在对运动中的女性以及渴望减肥的女性一系列研究中发现，核黄素的需求量范围在每 1000 千卡 0.63~1.4 毫克之间[2-4]。

一些证据表明，体育活动会使维生素 B_2 需求量稍高于 0.5 毫克 / 1000 千卡的水平，但不会超过 1.6 毫克 / 1000 千卡[5]。尽管如此，即使运动员的需求量明显要高，但并没有研究证实，摄入量大于 RDA（推荐膳食供应量）会使运动员的成绩提高。由于低剂量补充这种维生素不会引发明显的毒性症状，所以，作为补充复合维生素 B 的一部分，运动员可以服用 1.6~3.0 毫克的核黄素补剂。这种摄入水平可以作为一种适当的预防措施，从而帮助运动员避免极高剂量（大于 RDA 的 100 倍）摄入而产生的伴随病症——头痛、恶心与虚弱[6]。

烟酸

烟酸通过其活性辅酶参与碳水化合物、蛋白质和脂肪的能量生成过程、糖原的合成，以及细胞的正常新陈代谢。这些酶——烟酰胺腺嘌呤二核苷酸（NAD）与烟酰胺腺

嘌呤二核苷酸磷酸（NADP）——是维持正常肌肉功能所必需的。烟酸缺乏症在遭受饥荒或单一摄入非强化谷物产品的人群中有大量的例证，但是并没有证据表明在运动员中存在烟酸缺乏症。

含有烟酸的食物有肉类、全谷物或强化谷物、种子、坚果与豆类。机体细胞具有从色氨酸（60 毫克色氨酸生成 1 毫克烟酸）中合成烟酸的能力。色氨酸是一种氨基酸，存在于优质蛋白质食物（如肉、鱼、家禽）中。由于很多种类的食物中都含有烟酸，所以人们每天摄入 12~14 毫克，或 6.6 烟酸当量（NEs）/ 1000 千卡的 DRI（膳食参考摄入量）相对比较容易。NEs 相当于 1 毫克烟酸或 60 毫克膳食色氨酸；你可以直接从食物中获取烟酸，或者通过直接摄入色氨酸来获得。NE 的测量单位会将两种来源都考虑在内。

表 2.5 烟酸快速指南

别称	烟酰胺、尼克酸、烟碱
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：16 毫克 / 天 成年女子：14 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	14~20 毫克 / 天
功能	能量代谢，糖原、脂肪合成
含量丰富的食物来源	富含色氨酸的食物（一种可以转化成烟酸的氨基酸）：牛奶、鸡蛋、火鸡肉、鸡肉 富含烟酸的食物：全谷类、瘦肉、鱼、家禽、强化谷物
营养缺乏症状	食欲减退、皮疹、痴呆、虚弱、嗜睡 疾病：糙皮病
毒性	耐受上限： 1 ~ 8 岁的幼儿 10 ~ 15 毫克/天 儿童与成年人（9 ~ 70 多岁）20 ~ 35 毫克 / 天 症状：面红、高烧、手足麻刺感、肝炎与胃溃疡（长期大量摄入）

烟酸营养不良会导致肌肉无力、食欲不振、消化不良以及皮疹。过量摄入烟酸可能会导致毒性症状，症状包括胃肠不适与感觉灼热（面色发红、发热），还可能引起脖子、脸与手指周围的刺痛感。这些症状一般在大剂量服用烟酸以降低血脂的人群中有报道。

在评价补充烟酸对运动能力影响的研究中发现，由于过量摄入烟酸降低了脂肪的代谢，导致在体育活动中对碳水化合物燃料（葡萄糖与糖原）的依赖性加大，从而引起耐力下降[7-9]。由于碳水化合物的存储有限，所以补充烟酸会使运动员耐力下降。到目前为止，还没有证据表明对烟酸的需求量会随着体育活动的增加而加大。

维生素 B_6

维生素 B_6 是指具有相同代谢活性的几种化合物（吡哆醇、吡哆醛、吡哆胺、5-磷酸吡哆醇以及吡哆胺-5-磷吡哆醇）。维生素 B_6 在肉类（特别是肝脏）中的含量最多，

其他含有维生素 B_6 的食物有麦芽、鱼、家禽、豆类、香蕉、糙米、全谷物与蔬菜。由于这种维生素的功能与蛋白质与氨基酸的代谢联系紧密，所以对它的需求量与蛋白质的摄入（蛋白质的摄入量越高，维生素 B_6 的需求量越大）有关。

表 2.6 维生素 B_6 快速指南

别称	吡哆醇、吡哆醛、吡哆胺
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：1.3~1.7 毫克/天 成年女子：1.3~1.5 毫克/天
运动员推荐摄入量	1.5~2.0 毫克/天
功能	蛋白质代谢、蛋白质合成、脂肪与碳水化合物代谢、神经递质的合成、糖酵解
含量丰富的食物来源	高蛋白食物（肉类）、全谷类、强化谷物、鸡蛋
营养缺乏症状	恶心、口炎、肌肉无力、抑郁、抽搐、免疫功能降低
毒性	耐受上限： 1~8 岁的幼儿 30~40 毫克/天 儿童与成年人（9~70 多岁）60~100 毫克/天 症状：周围神经炎（四肢知觉丧失）、平衡性与协调性丧失

成人的需求量是根据每天每摄入 1 克蛋白质需要 0.016 毫克维生素 B_6 而确定的，蛋白质摄入量充足的人能够满足此需要。如果你认为高蛋白食物也必然含有较高的维生素 B_6，那么从食物（无论数量多少）中摄入蛋白质的人就很容易获得充足的维生素 B_6。但是，许多运动员补充纯化蛋白质（蛋白质粉、氨基酸粉），从而可能会造成运动员具有较高的蛋白质摄入量，而其维生素 B_6 的摄取量却不足。

维生素 B_6 通过帮助合成氨基酸与蛋白质（转氨基作用）而在蛋白质合成过程中起作用，它还通过参与氨基酸与蛋白质（去氨基反应）的分解过程，来影响蛋白质的分解代谢。因此，它参与对运动成绩至关重要的肌肉、血红蛋白以及其他蛋白质的合成。维生素 B_6 主要的酶——吡哆醛磷酸盐（PP）也会通过糖原磷酸化酶参与肌肉糖原的分解并释放能量。

维生素 B_6 的长期不足会导致周围神经炎（手、脚、上肢与腿丧失神经功能）、共济失调（失去平衡）、烦躁、抑郁与抽搐。过量摄入维生素 B_6（特别是从补剂中摄取）同样会导致人的毒性症状（已有文献报道），这些症状与维生素 B_6 缺乏症相似，包括共济失调与严重的感觉神经疾病（手指失去知觉）。毒性症状在服用补剂的女性人群（为治疗经前期综合征与几种神经疾病，平均每天摄入相当于 119 毫克的维生素 B_6）中已经有文献报道[10, 11]。

研究维生素 B_6 和运动成绩的关系有着一定的理论基础。作为肌肉获得所需能量的一种方式，维生素 B_6 参与肌肉中氨基酸的分解，同时也参与在肝脏中将乳酸转化成葡萄糖的过程[12]。维生素 B_6 还参与肌糖原的分解以获得能量。维生素 B_6 与运动成绩有关的其他功能还包括构成血清素以及从赖氨酸中合成肉毒碱。有证据表明，一些运动员可能存在维生素 B_6 不足的风险[13-15]。维生素 B_6 不足会降低运动成绩[16]。

由于很多运动员总是在寻求额外的优势，所以他们对于合法天然物质的由衷青睐是可以理解的。维生素 B_6 有时会作为一种合法的天然物质进行交易，而且除了在代谢中的重要性之外，它还与生长激素的产生有关。生长激素有助于增加肌肉量[17]。由此可以看出，运动与维生素 B_6 对生长激素合成的综合影响比其他任何单个因素都明显[18, 19]。

运动员在服用维生素 B_6 补剂之前，必须首先考虑如下因素[20]：

- 多数运动员维生素 B_6 摄取充足，处于正常水平。
- 维生素 B_6 不足的运动员往往是由于能量摄取量不足。
- 更大比例的女运动员以及强调低体重体育项目的运动员（体操、摔跤、花样滑冰）更易出现能量与蛋白质摄入不足，从而造成维生素 B_6 的摄入量不足。
- 高剂量的维生素 B_6 已经被证实会产生毒性作用。
- 维生素 B_6 不足会导致运动成绩下降，但并没有充分的证据表明摄入量大于推荐值，会对运动成绩产生有益的影响[21]。
- 如果膳食平衡而且能量摄入充足，那么，补充维生素 B_6 对于提高运动成绩，看起来并不那么必要[22]。

综合考虑以上因素，应当鼓励运动员摄入充足的能量物质，而不是依赖维生素 B_6 补充剂。

维生素 B_{12}

维生素 B_{12} 是所有维生素中化学属性最复杂的一种。它含有的矿物质钴（从而得名“钴胺素”）是所有细胞功能的基本要素，并且对红细胞的形成、叶酸代谢、DNA 的合成，以及神经发育起着重要的作用。

维生素 B_{12} 的膳食来源主要是动物性食物（肉类、鸡蛋、奶制品）；植物性食物中基本不含这种物质。肠源性细菌也会合成少量的可吸收的维生素 B_{12}[23]。不吃动物性食物的素食主义运动员（例如不吃肉，也不吃鸡蛋与奶制品的运动员）可能会出现维生素 B_{12} 缺乏的危险。

表 2.7 维生素 B_{12} 快速指南

别称	钴胺素
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：2.4 微克/天 成年女子：2.4 微克/天
运动员推荐摄入量	2.4～2.5 微克/天
功能	蛋白质代谢、蛋白质合成、脂肪与糖的代谢、神经递质的形成、糖酵解
含量丰富的食物来源	动物性食物（肉类、鱼、家禽、鸡蛋、牛奶、奶酪）与强化谷物
营养缺乏症状	恶性贫血（尽管严格的素食主义者有此危险，但更有可能是由于维生素吸收不良引起，而非膳食不足） 症状：虚弱、容易疲劳、神经紊乱
毒性	尽管每日供给量（DV）为 6 微克 / 天，但尚没有确定耐受上限

维生素 B_{12} 缺乏会导致恶性贫血——胃功能受损的老年人最易出现的一种贫血。胃通常产生内因子，这是吸收维生素 B_{12} 所必须的物质。如果没有内因子，即使是正常的维生素 B_{12} 膳食摄入，也会因为吸收障碍而导致维生素 B_{12} 缺乏。维生素 B_{12} 缺乏的症状包括疲劳、肌肉协调性不好（可能会导致瘫痪）以及痴呆。

数年来，运动员一直都在滥用维生素 B_{12}。许多运动员在赛前注射大量的维生素 B_{12}（通常 1 克的注射量），这种现象非常普遍并且仍会持续[24, 25]。尽管这种方法应用得很广泛，并没有证据证明过量摄入维生素 B_{12} 对提高运动成绩有任何作用[26-28]。

道理很明显，运动员摄入食物会帮助他们避免多种营养不良（包括维生素 B_{12} 缺乏症）。贫血症由于携氧能力降低，导致耐力下降，从而对运动成绩造成明显的影响。并且，肌肉协调性也可能会受到潜在的损害。一个人如果进食平衡的混合食物膳食，除非有先天维生素 B_{12} 吸收障碍（特别由于制造的内因子不足），否则就没有必要去服用补剂。另一方面，纯素食主义者应充分关注维生素 B_{12} 的状况。一般情况下，纯素食主义运动员如果补充维生素 B_{12}，以 1.8~2.4 微克 / 天的膳食参考摄入量为宜，就像摄入强化维生素 B_{12} 的食物一样（如一些豆奶产品）。

叶酸

叶酸广泛存在于食物中，叶酸含量丰富的食物有肝脏、酵母、多叶蔬菜、水果与豆类。目前，美国的谷物产品（面包、麦片粥、意大利面条）中也进行了叶酸的强化。每 100 克强化食品提供大约 140 微克叶酸。家庭食品通常的制作方法与长时间的贮存，很容易破坏叶酸，因此新鲜食物通常是最富含叶酸的。叶酸在氨基酸代谢与核酸（RNA 与 DNA）合成过程中起作用，而叶酸不足会导致蛋白质合成的改变[1]。更新快的组织（包括红、白细胞以及胃肠道组织与子宫）对叶酸尤其敏感。怀孕前或怀孕期间充分地摄入叶酸，会减少胎儿患神经管畸形（最常见的是脊柱裂）的风险[29, 30]。

叶酸是根据膳食叶酸当量（DFE）来进行计算的，1 DFE 等于：

- 1 微克食物叶酸；
- 强化食品或者食品补剂中 0.6 微克叶酸；
- 空腹情况下服用的 0.5 微克叶酸补剂。

由于叶酸与维生素 B_{12} 在生成健康的红细胞过程中共同起作用，所以叶酸缺乏会导致巨幼红细胞性贫血。其他缺乏症状包括胃肠不适（腹泻、吸收障碍、疼痛）以及舌头肿胀、发红。关于人类由于过量摄入叶酸所引发的毒性，目前没有报道，也没有研究报道叶酸与运动员成绩的关系。尽管如此，由于运动员要参加各种高强度体育活动，所以组织更新速度大于普通人，而且有证据表明，运动员的红细胞更新速度大于非运动员[31, 32]，所以有充分的理由证明，运动员摄入足量叶酸是必要的，而且最好的办法是通过经常进食新鲜的水果与蔬菜来获取。如果这种途径无法实现，依照膳食参考摄入量（400 微克 / 天）的推荐进行日常补充也是维持叶酸正常状态的有效途径。

表 2.8 叶酸快速指南

别称	无
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：400 微克 / 天 成年女子：400 微克 / 天
运动员推荐摄入量	400 微克 / 天
功能	蛋氨酸（一种必需氨基酸）代谢、DNA 构成、红细胞构成、胎儿正常发育
含量丰富的食物来源	绿色多叶蔬菜、豆类、全谷物麦片、橘子、香蕉
营养缺乏症状	巨幼红细胞性贫血、神经管畸形（怀孕期间摄入量过低而导致） 症状：虚弱、容易疲劳、神经紊乱
毒性	耐受上限： 1 ~ 8 岁的幼儿 300 ~ 400 微克 / 天 儿童与成年人（9 ~ 70 多岁）600 ~1000 微克 / 天 症状：尚未确定

生物素

生物素与镁和三磷酸腺苷（ATP）共同作用于二氧化碳的代谢、葡萄糖的合成（糖异生）、糖代谢以及糖原、脂肪酸与氨基酸的合成 [1]。富含生物素的食物来源包括蛋黄、豆面、肝脏、沙丁鱼、胡桃、山核桃、花生与酵母。在日常膳食中水果与肉类含生物素较少。生物素还可以由肠道细菌合成。由于能够在肠内合成，所以这种维生素的缺乏症很少见，但是大量摄入生鸡蛋蛋清可能会导致生物素缺乏，因为生鸡蛋蛋清中含有抗生物素蛋白。这种蛋白质会与生物素结合（20 颗生鸡蛋蛋清足以干扰生物素的新陈代谢）。当发生生物素缺乏时，产生的症状有食欲丧失、呕吐、忧郁症与皮炎。没有证据表明，运动员会患生物素缺乏症，也尚无有关生物素与运动成绩之间关系的资料。因此，建议运动员摄入生物素不要超过所推荐的膳食参考摄入量。

表 2.9 生物素快速指南

别称	无
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：30 微克 / 天 成年女子：30 微克 / 天
运动员推荐摄入量	30 微克 / 天
功能	葡萄糖与脂肪酸合成、糖异生、基因表达
含量丰富的食物来源	蛋黄、豆类、深绿色多叶蔬菜（肠道细菌可能产生）
营养缺乏症状	很少；如有，则是由于大量摄入蛋清引起 症状：食欲减退、抑郁、肌肉疼痛、皮炎
毒性	没有确定耐受上限

泛酸

泛酸是辅酶 A（CoA）的结构性成分，辅酶 A 在能量代谢过程中起重要的核心作用。通过辅酶 A，泛酸参与糖、蛋白质与脂肪的代谢。泛酸广泛存在于日常膳食中，所

以运动员不太可能发生缺乏症，特别是有足够能量摄入的运动员。如果确实发生了泛酸缺乏，表现症状有容易疲劳、虚弱与失眠。在肉类、全麦食品、豆子以及豌豆中泛酸含量最高。该维生素的补充剂量通常是 10 毫克 / 天（是 5 毫克 / 天的膳食参考摄入量的 2 倍），这个水平不会产生毒性。但是，关于泛酸的潜在毒性，还是存在少量数据的。因此，当运动员高剂量补充该种维生素时必须引起注意。

补充泛酸与运动成绩之间可能存在一定的联系，但是针对运动员补充泛酸提出合理建议之前，还需要更多的资料支持。通过实验方法确定泛酸补剂需求量的研究中显示，典型的剂量是 10 毫克 / 天。这种摄入水平下，每天有 5~7 毫克通过尿排泄出去 [1]。因此，每天 10 毫克的补充剂量超过了合理的限度。

表 2.10 泛酸快速指南

别称	泛酸酯
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：5 毫克 / 天 成年女子：5 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	4 ~ 5 毫克 / 天
功能	作为辅酶 A 的一部分，参与能量代谢、糖异生、乙酰胆碱的合成
含量丰富的食物来源	除加工以及精加工以外的所有食物
营养缺乏症状	人类症状未知
毒性	每日用量为 10 毫克，但耐受上限没有确定 症状：未知

维生素 C

维生素 C 作为抗氧化剂，还参与结缔组织胶原蛋白的生成。新鲜水果与蔬菜是维生素 C 的最好来源。肉类与奶制品中维生素 C 的含量较低，谷物（除非是强化谷物）中不含维生素 C。维生素 C 在烹调（加热）和暴露于空气（氧气）的情况下很容易遭到破坏。它还非常易溶于水，因此水中烹调的食物维生素 C 很容易丢失。维生素 C 缺乏

表 2.11 维生素 C 快速指南

别称	抗坏血酸、抗坏血酸盐、脱氢抗坏血酸、L–抗坏血酸盐
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：90 毫克 / 天 成年女子：75 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	200 毫克 / 天
功能	生成胶原蛋白、铁吸收、生成肾上腺素
含量丰富的食物来源	新鲜水果（特别是柑橘类与樱桃）与蔬菜
营养缺乏症状	很少；如有，则是由于坏血病引起 症状：牙龈出血、肌肉与肌腱萎缩、猝死
毒性	耐受上限： 1 ~ 8 岁的幼儿 400 ~ 650 毫克 / 天 儿童与成年人（9 ~ 70 多岁）1.2 ~ 2.0 克 / 天 长期摄入 1 克 / 天或更多，会增加形成肾结石的风险

症坏血病现在几乎已经不存在。经常性、高剂量的补充摄入维生素 C 造成的毒性也很少见，但是可能有易患肾结石的倾向，并可能减少组织对维生素的敏感性。每天 100~200 毫克的剂量将会满足身体对维生素 C 的需要[33]，但是许多人实际上每天摄入的剂量为 1000~2000 毫克，大大高于膳食参考摄入量每天 75~95 毫克的推荐量。

针对维生素 C 摄入量与运动成绩之间的关系，许多研究进行了评估，尽管结果并不一致。但多数研究存在的问题是，受试者之间缺乏规范化的标准，而且一般缺少对照组。尽管如此，有研究报道，实验分为对照组和补充维生素 C 组，补充维生素 C 组每天补充剂量为或低于 500 毫克（请记住，成年女子的膳食参考摄入量为每天 75 毫克，成年男子为每天 90 毫克），结果发现维生素 C 对运动成绩并没有明显的益处[34]。一项研究发现，如果在测试前不久（4 小时）摄入 500 毫克的维生素 C，在力量方面有显著的提高，最大耗氧量显著降低，而对肌肉耐力却没有任何影响[35]。如果向受试者提供 7 天同样剂量的维生素 C，结果显示，力量有一定提高，但耐力却有所降低。当向这些受试者提供 2000 毫克 / 天的剂量，并服用 7 天时，运动员的最大摄氧量有所降低，但在耐力方面没有明显的变化。

稍高水平的维生素 C 可能会对从事对抗性体育项目的运动员（会有肌肉酸痛或者损伤发生，从而需要形成更多的胶原蛋白）有益。动物实验表明，维生素 C 能够促进康复的过程，而维生素 C 不足会阻碍康复[36]。研究还指出，当服用适当剂量的维生素 C 或其他抗氧化剂时，会迅速地缓解肌肉酸疼[37]。

研究补充多少维生素 C 才有利于运动成绩的提高是很困难的，但是运动员在服用补剂之前，应当牢记该维生素的安全上限（2000 毫克 / 天）。由于一些研究显示高剂量维生素 C 补充可能引发耐力问题，所以摄入量应当始终低于导致成绩不佳的那个点。众所周知，维生素 C 能够促进铁的吸收。1993 年，有 3 例由于铁过载而死亡的报道，并且死者每天都服用大剂量的维生素 C[38]。另外，许多运动员每天仅从食物中就已经摄入大于 250 毫克的维生素 C。基于这种情况，建议大量进食新鲜水果与蔬菜 [碳水化合物与许多其他营养素（包括维生素 C）的良好来源]。如果做不到这一点，每天服用膳食参考摄入量推荐剂量的补剂（每天 75~90 毫克）也是一种值得推荐的方法。除长期能量摄入不足的情况之外，运动员都能达到膳食参考摄入量所需剂量，并比非运动员的普通人群摄入更多维生素[39]。即使某人进食很少的水果与蔬菜（但定期食用），很可能也能达到膳食参考摄入量关于维生素 C 的推荐量，但是少量的补剂也许可以起到合理安全的保障作用。

脂溶性维生素

脂溶性维生素由脂肪溶剂运送，这就为运动员不应进食超低量脂肪膳食（即低于总能量的 20%）提供了重要的依据。身体中含有四种脂溶性维生素（A、D、E、K），每种都被有效地贮存并在需要时使用。关于这些维生素的功能、来源及其可能出现的问题，参见表 2.1~表 2.15[33, 40, 41]。身体对脂溶性维生素的储存能力是有限的，所以长

期高剂量摄入会导致各种严重的疾病。为了强调这一点，必须指出人类营养素中最具潜在毒性的两种物质是维生素 A 与维生素 D。当摄入日常的饮食时，要达到产生毒性水平的剂量是很困难的，但是，如果定期补充这些维生素，就很容易达到产生毒性的水平。由此说来，我们对这些维生素的储存能力减少了补剂摄入的需要。

维生素 A

维生素 A 的活性形式是视黄醇，我们从动物性食品中获取这种物质，包括肝脏、蛋黄、强化奶制品（如，维生素 A 与 D 牛奶）、人造黄油以及鱼油。女性膳食参考摄入量推荐范围为 700 视黄醇活性当量（RAE），男性为 900 视黄醇活性当量（RAE）。

1 RAE 等于：

- 1 微克视黄醇，
- 12 微克 β-胡萝卜素，
- 24 微克 α-胡萝卜素，或者
- 24 微克 β-隐黄质。

维生素 A 与正常视觉密切相关；帮助维持骨骼、皮肤与红细胞健康；保持免疫系统的正常功能。没有证据表明，过量摄入维生素 A 能够提高运动成绩。既然过量（引起女性与男性不良效果的最大上限是 3000RAE）摄入该种维生素时会产生明显的毒性作用，所以运动员必须谨慎。维生素 A 的毒性有几种表现形式，包括皮肤干燥、头痛、易怒、呕吐、骨痛以及视力问题。怀孕期间过量摄入维生素 A 将增加新生儿畸形的风险。

表 2.12　维生素 A 快速指南

别称	视黄醇（前体：β-胡萝卜素）
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：900 微克 / 天 成年女子：700 微克 / 天
运动员推荐摄入量	700 ~ 900 微克 / 天
功能	维持健康的上皮（表皮）细胞、眼睛健康、免疫系统健康
含量丰富的食物来源	视黄醇：肝脏、黄油、奶油、蛋黄、鱼肝油 β-胡萝卜素：深绿色与鲜艳颜色的水果和蔬菜
营养缺乏症状	皮肤干燥、头痛、易怒、呕吐、骨骼疼痛、夜盲症、易感染、失明
毒性 （高潜在毒性）	耐受上限： 1 ~ 8 岁的幼儿 600 ~ 900 微克 / 天 儿童与成年人（9 ~ 70 多岁）1.7 ~ 3.0 毫克/天 症状：肝脏损伤、骨骼畸形、死亡

维生素 A 的前体是 β-胡萝卜素（前体指在一定条件下，能够转化成维生素的活性形式物质）。因此，进食含有 β-胡萝卜素的食物是一种间接获取维生素 A 的方式。β-胡萝卜素存在于所有红色、橙色、黄色以及深色水果与蔬菜（胡萝卜、甘薯、菠菜、杏、香瓜、西红柿，等等）中。β-胡萝卜素是一种强氧化剂，可保护细胞免受

（可能会导致癌症的）氧化损伤，当我们需要时，它可以转化成维生素 A。与生成的维生素 A（视黄醇）不同，β-胡萝卜素过量时不会显示出同样明显的毒性效果。但是，持续大量摄入胡萝卜、甘薯以及其他富含 β-胡萝卜素的食物时，由于 β-胡萝卜素堆积在皮下脂肪，会导致人的肤色发黄。

β-胡萝卜素作为一种抗氧化剂，可想而知它能够有效地降低运动后肌肉酸痛，并有助于训练后机体恢复。但是，这仅限于理论推断，并没有研究证明摄入 β-胡萝卜素与降低肌肉酸痛和增进机体恢复之间有直接的联系。尽管如此，由于它潜在毒性相对较小以及其潜在优点，美国奥林匹克委员会已经将 β-胡萝卜素认定为一种抗氧化剂[42]。

维生素 D

维生素 D 是人类营养素中最具潜在毒性的维生素，每天的上限（UL）为 50 微克。我们可以从食物中以及通过晒太阳获取非活性形式的该种维生素。皮肤暴露在紫外线（太阳光）下能够将胆固醇衍生物（7-脱氢胆甾醇）转换成维生素 D 的非活性形式胆钙化醇。为了使其发挥作用，维生素 D 的这种非活性形式必须由肾脏激活。因此，肾脏疾病可能成为与维生素 D 相关的机能失调的原因之一。维生素 D 的膳食来源包括鸡蛋、强化牛奶、肝脏、黄油与人造黄油。曾经一度被普遍用做补剂的鳕鱼肝油是该维生素的可观来源。成人维生素 D 的膳食参考摄入量是每天 5 微克胆钙化醇或者 200 国际单位（IU）的维生素 D（1 微克钙化醇等于 40 IU 维生素 D）。

维生素 D 能促进生长，并通过增加钙与磷的吸收，使骨骼与牙齿钙化。充分摄入钙与磷，但没有充足维生素 D 的膳食会导致钙与磷缺乏症。儿童缺乏症佝偻病与成人缺乏症软骨病都属于钙缺乏疾病，可能是由于维生素 D 水平不足，或是由于无法将维生素 D 转化成活性（起作用的）形式而造成的。尽管如此，由于维生素 D 具有潜在毒性，因此必须特别小心不要摄入过多。过量摄入维生素 D 会导致呕吐、腹泻、体重减轻、肾脏损伤、高血钙，甚至死亡。

表 2.13 维生素 D 快速指南

别称	胆钙化醇、骨化三醇、钙化醇
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：5 微克 / 天 成年女子：5 微克 / 天
运动员推荐摄入量	5 ~ 15 微克 / 天
功能	钙与磷的吸收、皮肤健康
含量丰富的食物来源	暴露于太阳光，鱼肝油；鸡蛋与鱼罐头中含量较少；强化牛奶与人造黄油
营养缺乏症状	佝偻病（儿童）、软骨病（成人）、应力性骨折的风险增加、骨质疏松症风险加大
毒性 （高潜在毒性）	耐受上限： 所有年龄组人群 50 微克 / 天 症状：恶心、腹泻、肌肉功能丧失、器官损伤、骨骼损伤

没有研究表明，摄入高水平维生素 D（无论是通过食物还是补剂方式）会有助于提高运动成绩。也没有理论依据说明能够改善运动成绩。但是，维生素 D 能够间接提高抗损伤能力，这是很有可能的。一些项目的运动员，由于所有的训练课都是在室内进行，所以可能晒太阳的机会特别少。暴露于紫外线的时间少，可能降低维生素 D 的合成，甚至达到对生长与骨密度产生不良影响的程度。众所周知，较低的骨密度会使运动员患应力性骨折的风险加大。应力性骨折可能导致运动员运动生涯的终止[43-45]。对美国国家体操队的一项调查显示，日晒是影响骨密度的最重要因素[46]。同时，从骨密度的角度来说，晒太阳比从食物中摄入维生素 D 或钙更重要。

维生素 E

维生素 E 是几种具有相似活性的生育酚的通称，其度量单位是依据将生育酚的活性当量与 α–生育酚的活性当量相比较而确定的。β–生育酚[47]的活性水平比 α–生育酚(48)的活性低，若要达到同样的效果，就需要较大的量。成人对维生素 E 的膳食参考摄入量是每天 15 毫克，通过进食绿色多叶蔬菜、蔬菜油、种子、坚果、肝脏与玉米很容易满足需要。但是，成人如果不能进食充足的蔬菜、坚果或蔬菜油，就会增加摄入不足的风险。人类患维生素 E 缺乏症是很难的，况且它是相对无毒的维生素（从食物中摄取的维生素尚无毒性证据）。美国医学研究所指出，维生素 E 补剂的不良影响可能包括出血性毒性。

表 2.14 维生素 E 快速指南

别称	生育酚、α–生育酚、γ–生育酚
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：15 毫克 / 天 成年女子：15 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	15 毫克 / 天
功能	抗氧化，保护细胞膜
含量丰富的食物来源	多不饱和与单不饱和蔬菜、谷物油以及人造黄油（玉米、大豆、红花、橄榄）；在强化谷物与鸡蛋中含量较少
营养缺乏症状	很少；如有，则会增加患癌症与心脏疾病的风险
毒性	耐受上限： 1 ~ 8 岁的幼儿 200 ~ 300 毫克/天 儿童与成年人（9 ~ 70 多岁）600 ~ 1000 毫克 / 天

维生素 E 是一种强有力的抗氧化剂，作用在于保护细胞膜不被过氧化物破坏。脂肪（特别是多不饱和脂肪）氧化（酸败）生成过氧化物。由于这些过氧化物在细胞内四处游动——改变或破坏细胞，所以被称为自由基。由于维生素 E 是一种抗氧化剂，它能够帮助捕获氧，从而限制脂肪氧化并保护细胞。

维生素 E 与运动成绩的关系已经有相关研究，但没有研究发现补充维生素 E 会提高力量或耐力[49-52]。在评估维生素 E 补剂是否会降低运动造成过氧化物损伤的研究中，有着不同的结果。一些研究指出，维生素 E 能够显著降低过氧化物损伤[53, 54]。

但另外一些研究发现，维生素 E 并无益处[55]。很明显，在得出权威性的结论之前，关于维生素 E 的补充需要更多的资料。尽管如此，通过适量增加额外维生素 E 的摄入量，能够减少过氧化物损伤的理论基础是合理的。维生素 E 补剂按国际单位（IU）销售，1 毫克 α-生育酚相当于大约 1.5 国际单位的维生素 E。

维生素 K

维生素 K 存在于绿色多叶蔬菜中，在谷物、水果与肉类中也有少量的维生素 K。肠道细菌也能生成维生素 K，因此绝对的膳食需求量尚未可知。该种维生素能够帮助合成凝血素（凝血素是血液凝结的必要物质）。定期服用抗生素会破坏肠道内的细菌，从而有可能增加患维生素 K 缺乏的风险。维生素 K 缺乏会导致流血与出血症状的增加。维生素 K 的膳食参考摄入量是成年女子 90 微克 / 天，成年男子 120 微克 / 天，没有确定的耐受上限。维生素 K 相对无毒性，但大量摄入合成形式维生素 K 会导致黄疸。一般补充剂量也会干扰抗凝血剂类药物。服用华法令阻凝剂（一种血液稀释剂）的人必须清楚地认识到，维生素 K 或者含维生素 K 的食物可能会降低华法令的药效。

表 2.15 维生素 K 快速指南

别称	叶绿醌、萘醌类、凝血维生素
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：120 微克 / 天 成年女子：90 微克 / 天
运动员推荐摄入量	700 ~ 900 微克 / 天
功能	促使血液凝固、强化骨钙（osteocalcin）功能使骨骼更加坚固
含量丰富的食物来源	叶绿醌：大量蔬菜油与深绿色多叶蔬菜（卷心菜、菠菜） 萘醌类：由在胃肠道内成线状排列的细菌合成
营养缺乏症状	很少；如有，则会导致大出血
毒性	尚未确定耐受上限

维生素 K 还与骨密度有关。维生素 K 水平低的人的骨密度较低，这可以通过补充维生素 K 进行改善[56]。此外，与低量摄入的女性相比，维生素 K 最小摄入量在 110 微克的女性，能够显著降低髋骨骨折的风险[57]。弗兰明汉心脏研究还发现了较高维生素 K 摄入量与降低髋骨骨折风险之间的关系[58]。维生素 K 存在于多种食物中，而且通过消化道内的细菌也可以生成，因此人体很容易获得充足的维生素 K。尽管如此，一项调查发现，美国人中一个很重要的人群，特别是儿童与年轻人，难以获取充足的维生素K[59]。

维生素 K 与运动成绩之间的关系尚无相关研究。而且，很难想出一个可能存在这种关系的理论框架。但显而易见，对于运动员，尤其是对抗性项目的运动员来说，足量的维生素 K 是避免青肿与流血所必需的。目前，尚无证据证明运动员是患维生素 K 缺乏症的高风险人群。

矿物质

与其他营养素不同，矿物质的独特之处在于它们是无机的。尽管如此，矿物质与其他有机营养素（维生素与能量物质）共同发挥作用。这种无机与有机协作的一个明显的例子是，矿物质钙与维生素 D 之间所建立的良好关系。这些单个营养素基本上是无用的，但当它们联合起来起协同作用时，可以共同维持骨密度。矿物质有多种功能，包括：

- 强化骨骼力量与结构，保持骨骼强壮并防止骨折。
- 维持血液与组织的相对酸碱度。对运动员来说，大强度的体育运动会导致 pH 水平降低（如增加相对酸度），因此，拥有健康的酸碱平衡调控系统对于耐力成绩是至关重要的。
- 在电脉冲过程中起桥梁作用，而电脉冲刺激肌肉产生运动。既然所有运动员运动能力的发挥都依赖于充足、有效的肌肉运动与协调，所以这个功能极其重要。
- 调节细胞新陈代谢。体育运动会增加燃料燃烧的速率。因此，将这种燃料燃烧有效地控制在细胞水平，对于运动员运动能力的发挥是很有必要的。

所有这些功能对运动员都是很重要的。骨密度低的运动员患应力性骨折的风险加大；酸碱平衡差会导致耐力水平低下；神经与肌肉功能不良也会导致协调性差；改变细胞代谢会限制细胞获取与存储能量的能力。

在促进最佳运动成绩发挥方面，已经明确矿物质的作用包括：参与糖酵解（从储存的葡萄糖中获取能量）、脂肪水解（从脂肪中获取能量）、蛋白质水解（从蛋白质中获取能量）以及磷酸原系统（从磷酸肌酸中获取能量）[60]。无机矿物营养素是构成机体硬组织与软组织所必需的。矿物质还参与酶系统、肌肉收缩、神经反射、血液凝结功能。从膳食中获得的这些矿物营养素分为两类：主要元素（巨量矿物质）与微量元素（微量矿物质）[33，40，41]。

巨量矿物质

身体中总的矿物质含量大约是身体重量的 4%。与微量矿物质相比，巨量矿物质的含量较大（从而得名），并包括钙、磷、镁、钠、氯化物与钾。钙约占身体总重量的 1.75%，磷约占 1.10%，而镁约占 0.04%。巨量矿物质的功能、来源以及可能存在的问题，见表 2.16~表 2.19、表 2.22、表 2.23。

钙

钙对于骨骼与牙齿结构、血液凝结与神经传导功能来说是一种重要的矿物质；成年女性与男性每日膳食参考摄入量（DRI）是 1000 毫克。钙营养缺乏与骨骼畸形（如佝

偻病)、骨脆性增加(如骨质疏松性骨折与应力性骨折)以及血压不正常有关。关于服用高剂量钙的毒性问题很少有报道,但是频繁、高剂量地服用钙补剂也许会改变胃的酸度(使其更偏于碱性),从而干扰蛋白质的消化。由于小肠内二价矿物质(钙、锌、铁与镁)相互之间存在竞争性吸收,当它们同时出现在消化道中时,大量的钙就可能干扰其他矿物质的吸收。因此,进食含铁食物的同时,服用大量的钙补剂,可能引起铁吸收不良,并最终导致缺铁性贫血。

表 2.16 钙快速指南

符号	Ca
膳食参考摄入量(DRI)	成年男子:1000 毫克 / 天 成年女子:1000 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	1300~1500 毫克 / 天
功能	骨结构与力量、酸碱平衡、神经功能、肌肉收缩、酶活化作用
含量丰富的食物来源	奶制品、深绿色多叶蔬菜、钙强化橘子汁与其他钙强化食物、豆奶、豆类
营养缺乏症状	骨质疏松症、佝偻病、肌肉功能不良
毒性	摄入耐受上限(UL): 所有年龄组人群 2500 毫克/天 症状:便秘、其他二价矿物(铁、镁与锌)吸收不良、肾结石、心律失常

钙的食物来源包括奶制品(牛奶、奶油、酸奶)、深绿色蔬菜(芥蓝菜、菠菜、甜菜、芥菜、花椰菜、青椒)以及干豆与豌豆(小扁豆、菜豆、黄豆以及干裂成两半的豌豆)。深绿色蔬菜中的钙与其他矿物质(特别是铁、镁与锌)很容易与草酸结合,导致矿物质不被吸收。因此,虽然深绿色蔬菜是钙与其他几种矿物质良好的潜在来源,但是如果不对其进行适当的处理,这些食物中的矿物质也不易被我们吸收利用。草酸盐可以溶于水,因此,将蔬菜浸在沸水中呆上几秒钟(热烫),就能去除大量的草酸盐,而矿物质仍可保存下来。接下来,就可以按需要进行蔬菜加工了。这种技巧极大地提高了蔬菜中钙的供给,并且已经被没有食用奶制品习惯的人群(特别是亚洲人)使用几千年了。这样做还有一个额外的好处,被热烫过的蔬菜,吃起来口感更好。草酸吃起来有些涩口,因此,去除草酸盐的另外一个好处就是使蔬菜味道更好了。

很多研究已经对摄入钙剂与体育运动以及骨密度之间的关系进行了评定。运动员服用钙补剂通常是为了减少骨折的风险(如通过提高骨密度),而不是提高运动成绩。众所周知,体育运动能够增加骨密度,而缺乏运动则会使骨密度降低。但是,骨骼的发育与钙化是一个复杂的过程,涉及到几个因素,包括所处生长阶段(儿童与青少年骨骼生长得更快)、激素状态(特别是女性的雌激素)、能量是否充足、维生素 D 的可用性以及钙的摄入量。

自 20 世纪 90 年代早期以来,随着名为 DEXA(双能 X 射线吸收法)精确骨密度测量设备的普遍使用,极大地提高了骨密度检测与确定骨折风险的能力。使用双能 X

射线检测的研究发现，钙摄入量等于或稍高于推荐膳食供应量（达 1500 毫克）的儿童与青少年，其骨密度较高。成人摄入充足的钙可能不会增加骨密度，但会为牢固骨骼打下基础。因此，确保钙的摄取量保持在膳食参考摄入量水平、保证充足的体育运动（对多数运动员来说，这并不是问题）并摄入充足的维生素 D，是明智之举。一项对优秀体操运动员的调查显示，与钙的摄入相比，晒太阳对骨密度的影响更大。这涉及到钙与维生素 D 之间的内在联系，以及多种营养素协同作用对于保障健康的重要性[61]。

许多女运动员所关心的另外一个问题是非正常闭经（月经停止），这与年轻运动员骨骼发育不良，或者年长运动员骨骼矿物质丢失有密切关系。导致不正常闭经的原因是很复杂的，包括能量摄入不足、饮食不规律、体脂水平低、铁营养缺乏、心理压力、皮质醇水平高以及过度训练。简单地说，训练刻苦的优秀女运动员发生非正常闭经的风险较高。很多做法，如保持良好的铁状态与摄入充足的能量，都有利于降低非正常闭经的风险。患非正常闭经的运动员，单凭摄入充足的钙来维持或增进骨骼的健康是不够的，这是因为非正常闭经会引起循环血中雌激素水平降低，从而抑制正常骨骼发育或维护。

磷

多数食物中都含有磷，特别是含蛋白质丰富的食物（肉、家禽、鱼与奶制品）与谷物。磷与钙（钙与磷的比例为 2:1）结合保持骨骼和牙齿的健康。磷还在能量代谢中起重要作用，可以影响糖、脂肪与蛋白质的代谢。肌肉运动产生的能量大部分来自于含磷的化合物——三磷酸腺苷（ATP）与磷酸肌酸。与钙一样，磷的吸收也依赖于维生素 D，成年人的推荐膳食供应量是 700 毫克 / 天。

由于磷普遍存在于食物中，所以磷营养缺乏症是很少见的。如果发生磷营养缺乏，很可能会出现在长期服用含氢氧化铝抗酸剂的人群中[62]。这种抗酸剂可以与磷结合，使其不能被吸收[63]。成年人对磷的耐受摄入上限是 4000 毫克 / 天，高于这个数字就会影响钙的吸收。

表 2.17 磷快速指南

符号	P
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：700 毫克 / 天 成年女子：700 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	1250 ~ 1500 毫克 / 天
功能	骨骼结构与力量、酸碱平衡、B 族维生素功能、合成 ATP
含量丰富的食物来源	所有高蛋白食物、全谷物产品、碳酸饮料
营养缺乏症状	很少见；如果发生，则会导致骨密度低与肌肉无力
毒性	耐受摄入上限（UL）： 1 ~ 8 岁的幼儿与 70 岁以上的老人 3000 毫克 / 天 儿童与成年人（9 ~ 70 岁）4000 毫克 / 天 出现毒性可能性小，如果发生，则会导致骨密度低与胃肠道不适

磷补剂被用来增强体力已经有很长一段时间了。在第一次世界大战中，德国人为了提高其士兵的力量与耐力，通常向士兵提供高磷食品与补剂[64]。如此庞大人群摄入磷的经验表明，大剂量的磷摄入能够相对地提高耐力。然而，没有直接的证据表明，高剂量磷的摄入确实能够提高力量与耐力。最近关于补充磷的效果研究结果是不一致的。长跑、划船与游泳运动员在运动前 1 小时服用 2 克磷酸二氢钠，其成绩都有所提高，而没有服用补剂的运动员中，只有半数表现出成绩进步[65]。另外一个研究发现，在功率车测试中，短期的磷补充能够提高最大摄氧量水平[66]。但是，在一个评估磷补剂对提高肌肉力量的研究中发现，摄入磷对于肌肉力量的提高并没有明显的作用[67]。这些研究结果的不一致，使人们很难得出运动前补充磷能够提高成绩的结论。很明显，在回答这个问题之前，需要有更多计划周密的研究。

镁

镁在多数食物中都存在，是人体代谢和维持神经与肌肉细胞电位差所必需的。当发生普遍营养不良时，特别是在酗酒者中，镁缺乏会导致焦虑与抽搐。镁参与 300 多种由食物合成新产物的反应，镁还是肌肉中糖、蛋白质与脂肪产生能量的关键性成分[68]。成年女性对镁的膳食参考摄入量范围为 310~320 毫克 / 天，男性为 400~420 毫克 / 天。镁的安全上限与膳食参考摄入量相同，但仅代表从补剂中的摄入量，不包括从食物与水中的摄取量。

表 2.18 镁快速指南

符号	Mg
膳食参考摄入量(DRI)	成年男子：420 毫克 / 天 成年女子：320 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	如果从食物来源中摄取，400 ~ 450 毫克 / 天；如果从补剂中摄取，350 毫克 / 天
功能	蛋白质合成、葡萄糖代谢、骨骼构成、肌肉收缩
含量丰富的食物来源	牛奶与牛奶制品、肉、坚果、全谷物、深绿色多叶蔬菜、水果
营养缺乏症状	很少见；如果发生，则会导致肌肉无力、肌肉抽筋与心律失常
毒性	耐受摄入上限（UL）： 如果作为补剂服用，350 毫克 / 天 症状：恶心、呕吐、腹泻

在高温高湿环境中训练的运动员，很可能由于出汗而丢失大量的镁。由于镁对肌肉功能起着重要作用，在这种情况下导致的镁缺乏，会使运动员无法充分发挥其运动能力。在一项为运动员补充镁剂的研究中，运动能力有提高的表现[69]。有限的证据表明，服用膳食参考摄入量推荐剂量的镁补剂，可以有效地提高血镁水平处于正常值范围低线运动员的耐力与力量素质[70, 71]。在一项评估镁补剂（365 毫克 / 天）对于训练良好的马拉松运动员影响的研究中发现，补剂对于运动成绩没有影响，没有改善肌肉

的抗疲劳能力，也没有促进赛后肌肉的恢复 [72]。除已知的通过降低总能量摄入以维持或降低体重的运动员（摔跤选手、体操运动员、花样滑冰运动员）以外，似乎所有的男运动员都摄入了膳食参考摄入量或更多的镁，而多数女运动员摄入镁至少也达到膳食参考摄入量的 60% [73, 74]。评估镁与运动成绩之间关系的有限的研究表明，当镁处于或接近正常水平时，该摄入量足以维持运动成绩，补充摄入对提高成绩的影响很小，甚至没有。

钠

钠作为基本的矿物质，通常被称为食盐（实际上是钠与氯化物的化合物）。它关系到身体水分与酸碱平衡，是主要的细胞外（在细胞外面，包括血液与液体）离子。在大多数天然食物中都含有少量的钠，在加工食品、罐头、烹制与快餐食品中钠大量存在。虽然多数人都能够排泄掉过量的钠，但是一些人由于缺少这种功能，所以对钠很敏感。在这些人中，过量的钠潴留会导致浮肿（细胞外液的过量积聚）并可以引起高血压症。对钠敏感的人可以通过选择天然食物以及避免高盐（即：咸味浓的）食品来限制钠的摄入。食物标签提供了关于钠含量的信息（表 2.20）。2004 年美国医学研究所对钠摄入的推荐量为 1.5 克 / 天 [75]，而耐受上限（UL）是每天 2.3 克。

表 2.19 钠快速指南

符号	Na
适宜摄入量（AI）	成年男子：1.5 克 / 天 成年女子：1.5 克 / 天
运动员推荐摄入量	>1.5 克 / 天；大量出汗所丢失的钠可能使需求量增加至>10 克 / 天
功能	水平衡、神经功能、酸碱平衡、肌肉收缩
含量丰富的食物来源	加工与罐头食品、腌菜、土豆片、椒盐卷饼、酱、奶油
营养缺乏症状	低钠血症，伴随肌肉抽筋、恶心、呕吐、食欲减退、惊厥与昏迷（极具潜在危险性）
毒性	耐受摄入上限（UL）： 2.3 克 / 天（大约 5.8 克食盐）；运动员的需求量可能明显大于 UL 主要症状：高血压

表 2.20 钠的食品标签：了解术语

术语	定义
无钠型	低于 5 毫克钠 / 标准食物
低钠型	• 140 毫克钠或更少 / 标准食物 • 如果一份食物重 30 克或更轻，140 毫克钠或更少 / 50 克食物 • 如果一份食物为 2 汤匙或更少，140 毫克钠或更少 / 50 克食物
含钠极低	• 低于 35 毫克钠 / 标准食物 • 如果一份食物重 30 克或更轻，35 毫克钠或更少 / 50 克食物 • 如果一份食物为 2 汤匙或更少，35 毫克钠或更少 / 50 克食物
限钠或少钠	与其他食物相比，钠的含量至少降低 25%

由于钠可以唤起饮水欲望，而且可以帮助维持血容量，所以，钠是运动饮料中的一种关键成分。维持血容量是影响运动能力的关键因素，与向细胞输送养分、清除细胞中的代谢副产物以及维持出汗率有关。关于钠的其他信息请看第3章。

由于汗液丢失，运动员所需要的钠可能比一般人的推荐量多1.5克。在高温高湿的环境中，经汗液丢失的钠很多，运动员每天钠需要量可能会大于10克，比每天2.3克的UL高出许多。因此，美国医学研究所关于钠摄入的推荐量对多数运动员来说并不适合。相反，当在高温高湿的条件下进行训练或比赛时，运动员应当经常摄入含盐分多的食物与饮料。运动员对盐的高需求已经得到美国医学研究所的认可，即普通的推荐量并不适合经常出汗的人。

氯化物

氯化物是一种细胞外矿物质，对于维持液体平衡和细胞正常功能是非常必要的。它还是胃液的重要成分。实际上，我们所进食的所有氯化物都与食盐（氯化钠）有关，所以钠与氯化物的摄入相对平衡。由于氯化物减少与钠的丢失紧密相关，因此，一种物质缺乏会与另一种物质不足相联系。严重出汗、频繁腹泻或呕吐尤其容易引发缺乏[76]。从汗液丢失的氯化物与钠的程度大于其他矿物质，包括钾与镁[77]。多数人摄入的盐（含60%的氯化物）都过量，因此，典型的氯化物摄入量是6000毫克（6克）或者更多，远远高于正常的需求量[76]。成年男性与女性大致的氯化物DRI需求量是每天2.3克，而安全摄入上限是3.6克/天。摄入过量的氯化物与钠都可能会导致高血压。

低钠血症

当液体与钠大量丢失时，如果不能摄入充足的钠，就可能导致低钠血症。低钠血症（hyponatremia）这个词字面意思是指血液（emia）中钠（Na）的含量低（hypo）。这种情况一般是由于大量出汗（汗液中含有钠与水）而补液中钠的浓度不足引起的。钠的稀释会导致血容量减少，这就是产生低钠血症症状的原因。不同运动员个体，其汗液中钠的浓度相差很大，但每升汗液钠的含量一般在2.25~3.4克之间。如果比赛中汗液的丢失可以达到一定的量（可能远远大于1升/小时），那么一位运动员在铁人三项比赛过程中丢失40克的钠是可能的。如果运动员所选择的补液不含钠或者钠含量很低，就可能会导致低钠血症（不同类型的低钠血症概况见表2.21）。

已经有人提出，通常服用的NSAID（阿斯匹林，异丁苯丙酸）与具有利尿效果的物质都会改变肾功能，因此可能加剧长时间耐力项目中发生低钠血症的风险[11]。许多药物都可能会导致低钠血症，因此运动员的用药，应当得到其医生的许可。由于低钠血症十分危险，必须采取所有可能的措施避免这一情况的发生。

表 2.21 低钠血症的不同类型

低容量性低钠血症	身体总水分（TBW）减少，而身体总钠量（Na^+）减少更多，细胞外液（ECF）容量减少。这可能是长距离耐力项目中最常见的现象，当身体水分丢失并补充了不适当的低渗液体（如自来水）时就会发生。钠的丢失也可以通过肾脏或非肾脏途径发生。非肾脏途径包括胃肠道丢失、大量出汗以及由于腹膜炎、胰腺炎与灼伤而引发的身体水分转移
正常血容量性低钠血症	TBW 增加而总钠量保持正常。ECF 容量的增加幅度由最小增加到中度，但不会出现浮肿。正常血容积的低钠血症表示钠贮存正常，但身体中总水分过多。这种现象一般发生在摄入过量液体时
高容量性低钠血症	身体总钠量增加，TBW 增加更多。ECF 显著增加，并出现浮肿。这一般发生在钠贮存过量的情况下，通常由于肾功能障碍无法排泄所吸收的过量的钠，如急性或慢性肾衰竭时
重分配型低钠血症	水分从细胞内液转移到细胞外液，必然会使钠的浓度降低。TBW 与身体总钠量保持不变。这种情况就会发生高血糖症
假性低钠血症	血容量被多余的蛋白质或脂质稀释。TBW 与身体总钠量保持不变。这种情况就会发生高甘油三酯血症与多发性骨髓瘤

Used with permission from eMedicine.com, Inc., 2005. Craig S. Hyponatremia. *eMedicine Journal* [serial online]. 2005. Available at: http://www.emedicine.com/EMERG/topic275.htm. [January 20, 2005].

当游离的水从血液转移到细胞内时，低钠血症显现出生理学上的重要性。虽然许多组织都可以耐受细胞浮肿，但是大脑却不能耐受。因此，低钠血症的严重症状主要与大脑水肿有关。低钠血症的症状包括恶心、抽搐、言语不清、定向力障碍以及神志不清。如果继续发展下去，运动员可能昏迷与死亡。简单地说，虽然低钠血症具有潜在的致命因素，但是在长时间耐力项目中，运动员只要摄入含钠饮料，并且避免纯水的话，还是可以避免的。

经历低钠血症任何初始症状（如肌肉抽筋）的运动员会发现，摄入含盐食物与含钠的运动饮料能够减缓症状，且效果令人满意。但是，言语不清、定向力障碍与神志不清都是严重的症状，需要立即就医检查[78]。

表 2.22 氯化物快速指南

符号	Cl
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：2.3 克 / 天 成年女子：2.3 克 / 天
运动员推荐摄入量	为了配合因大量的汗液丢失而造成的钠需求量增加，每天需 2.3 克或更多
功能	水平衡、神经功能、（胃）壁细胞产生盐酸
含量丰富的食物来源	食盐（大约 60%的氯化物，40%的钠）
营养缺乏症状	伴随频繁呕吐；虽然少见，但会导致抽搐
毒性	耐受摄入上限（UL）： 3500 毫克 / 天，相当于 5800 毫克的食盐 Cl 的摄入量与钠的摄入量密切相关，因此过量摄入尤其会导致高血压（来自于钠）

钾

钾是在细胞内（细胞内电解质）发现的主要矿物质，浓度比细胞外高出 30 倍。它参与水的平衡、神经冲动传导以及肌肉收缩。钾膳食不足是很少见的，通常会发生在慢性腹泻与呕吐或者滥用泻药时。高血压患者服用药物会引起钠的丢失，在这个过程中也会丢失钾。因此，应该鼓励这些人群通过摄入钾补剂或富含钾的食物（水果、蔬菜与肉类）来进行补充。通常钾摄入量为每天 1000~11000 毫克（1~11 克 / 天），进食大量新鲜水果与蔬菜的人的摄入量最大。

有资料表明，每天摄入大约 3500 毫克的钾有助于控制血压 [76]。钾摄入充足有助于抵消钠摄入过量所造成的影响，从而帮助控制高血压。同时还可以减小发生低骨密度和肾结石的风险 [76]。成年男性与女性钾的膳食参考摄入量都是 4.7 克 / 天。虽然没有确定的安全上限，但是当摄入量大约为 18 克 / 天时，就会出现钾毒性，并且可能会导致心搏停止 [76]。患慢性肾病或糖尿病的人因高钾血症而致死的危险特别大，多数情况是由于摄入了大量的盐替代品或钾补剂。由于过量摄入钾会增加发生突发性心搏停止的危险，所以通常不推荐服用钾补剂。

表 2.23 钾快速指南

符号	K
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：4.7 克 / 天 成年女子：4.7 克 / 天
运动员推荐摄入量	4.7 克/天，大量出汗时更多
功能	水平衡、将葡萄糖输送到细胞
含量丰富的食物来源	柑橘类水果、土豆、蔬菜、牛奶、肉、鱼、香蕉
营养缺乏症状	低血钾症，伴随食欲减退、心律不齐与肌肉抽筋
毒性	高血钾症——可能导致心律不齐与心脏功能改变（可以致死）； 由于这个原因，通常不推荐服用钾补剂

钾对于心脏与骨骼肌功能至关重要，这个观点已经被广为接受。由于从汗液中仅丢失少量的钾，因此不会对营养良好的运动员成绩造成特别的影响 [79]。

微量矿物质

微量矿物质（微量元素）在身体组织中的量极小，但对人类的营养具有极其重要的作用。每种微量矿物质的每天需要摄入量低于 100 毫克，并且这些矿物质在身体内的总含量不足 5 克。这些微量矿物质包括铁、锌、碘、硒、铜、锰和铬。微量矿物质的功能、来源与可能存在的问题，见表 2.24 以及表 2.27~表 2.32。

铁

铁是合成运输氧气的化合物血红蛋白（在血液中）与肌红蛋白（在肌肉中）所必需

的物质。铁也存在于许多其他参与正常组织功能的化合物中。铁的吸收是有限的，因为一旦吸收过量，机体没有有效的多余铁排泄机制。在很大程度上，铁的吸收量是受其储备（以铁蛋白与血铁黄蛋白形式）量影响的。铁储备越低，其吸收率越高；但是，总吸收率很少超过所进食食物中含铁量的 10%~15%。这种变化的吸收机制旨在维持相对恒定的铁水平，同时避免铁摄入过量。尽管吸收率不断变化，但对于铁摄入不足的人们仍有铁营养缺乏的危险，甚至最终导致缺铁性贫血。

表 2.24 铁快速指南

符号	Fe（Fe^{2+} = 亚铁离子；Fe^{3+} = 三价铁离子）
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：8 毫克 / 天 成年女子：18 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	15 ~ 18 毫克 / 天
功能	运输氧气（以血红蛋白与肌红蛋白形式）、部分氧化酶的组成成分、有氧代谢的物质基础
含量丰富的食物来源	肉、鱼、家禽与贝类；在豆类、深绿色多叶蔬菜与干果中含量较少；铸铁炊具增加所烹调食物中铁的含量
营养缺乏症状	疲倦、抗感染能力差、低能量代谢（伴随体温过低）
毒性	组织铁的中毒水平（血色素沉着症）与肝脏损伤

缺铁性贫血的特点是氧运输能力差，这会直接导致运动员耐力问题。铁营养不良伴随免疫功能差、注意力集中时间短、易怒以及学习能力差。在美国，处在快速生长期的儿童、月经年龄的妇女、素食主义者与怀孕女性患缺铁性贫血的风险有增加的趋势。生长期与怀孕期，由于血容量的快速扩张，而铁是红细胞的基本组成成分，所以对铁的需求量增加。由于月经期伴随定期的血液（与铁）丢失，所以处于生育年龄的女性需求量更高。基于这个原因生育年龄女性的铁膳食参考摄入量（18 毫克）比同龄男性要高（8 毫克）。有些人由于失去了限制铁吸收的功能，而存在患铁中毒的风险。如果幼儿摄取了针对成人的铁补剂，那么他们发生铁中毒的风险就特别大。虽然儿童的铁膳食参考摄入量（7~10 毫克 / 天）与成年男性相似，但是许多针对成人的铁剂所含的铁量大于膳食参考摄入量的 300%。铁超载有潜在的致命性。

铁存在于多种食物中，包括肉类、鸡蛋、蔬菜与铁强化谷物。牛奶与其他奶制品铁的含量很少。铁最易吸收的形式是“血红素”铁，来自肉类与其他动物性食品。非血红素铁不易被吸收，存在于水果、蔬菜与谷物中。但是，非血红素铁可以通过进食富含维生素 C 的食物来促进其吸收。另一方面，非血红素铁的吸收会受到植酸（与谷粒麸相关的一种物质）、抗酸剂与磷酸钙的抑制。一般说来，红肉被认为是铁含量最丰富、最易吸收的食物来源。由于这个原因，很多人认为素食主义者患缺铁性贫血的风险会增加。尽管如此，通过合理的计划，如摄入蔬菜、铁强化谷物制品与富含铁的水果，以及良好的烹调技巧，素食主义者也可以获得充足的铁。表 2.25 列出了蔬菜膳食中改善铁吸收的几种方法。

表 2.25 素食者膳食中铁摄入最大化

食物种类	正常吸收	提高吸收率
蔬菜（所有种类）	所含的铁以非血红素形式存在，比肉中铁的吸收率低	食用前向蔬菜中加入柠檬或橘子汁以增加维生素 C
深绿色蔬菜	含铁同时也含有草酸，它会减少可被吸收的铁量	为了去除草酸，可以将蔬菜放入盛有沸水的锅中，停留 5～10 秒钟。这样能够去除大量的的草酸，并保留铁
高纤维谷物（麸含量高）	含有大量的植酸，它可以与铁结合并减少铁的可吸收性	为使吸收最大化，在膳食中以全谷物食品代替加麸谷物食物

铁状态与运动成绩 运动员有充分的理由关注铁营养状态，因为铁的运氧能力与氧化酶功能是人体耐力的关键性因素。铁缺乏是普通人中最常见的营养缺乏症之一，而且运动员中似乎铁缺乏与缺铁性贫血有着相同水平的发生率[80]。运动员铁缺乏的一般原因，见表 2.26。

表 2.26 运动员铁缺乏原因概述

铁的膳食摄入量低	运动员可能摄入了含铁量不足的食物
进食铁吸收率低的食物	蔬菜中所含的铁浓度与铁吸收率都比肉类低
铁流失增加（血尿症）	由于血管内压力较大，红细胞的分解速率加大，导致溶血现象。由于红细胞破裂，会使少量的铁（如血红蛋白与肌红蛋白）随尿液丢失
汗液中的铁丢失	汗液中铁的丢失较少，但对于膳食铁低的运动员可能会导致铁缺乏
流血失铁	通过胃肠或非正常月经而流失的血，增加了铁营养缺乏的风险
稀释性假贫血（通常也被称为运动性贫血）	运动训练使血容量增加，这可能导致暂时性的红细胞稀释

膳食摄入 运动员（特别是耐力型运动员）的膳食中，特别注重了碳水化合物的摄入，而减少了肉的摄入量。这种饮食方式通常与提供最优化能量物质分配的理念有关，但之中似乎忽略了铁的摄入。作为减少缺铁性贫血流行的一种公共健康措施，尽管当前推出了强化铁的谷物食品，但肉类所提供的铁量明显地高于其他食物。由于素食主义运动员无法摄入含铁量最高的食物，所以他们患铁缺乏的风险最大。

铁吸收量低 铁的吸收相对较低（很少超过摄入的总膳食量的 10%），即使是对需求量最大的人来说，亦是如此。摄入肉会增加铁的吸收，而随进食非肉食物则铁的吸收减少。此外，蔬菜（草酸）与谷物（植酸）的某些组成成分可以同铁和其他二价矿物质结合，以至于无法被吸收。

铁与其他二价矿物质（最显著的是钙、镁与锌）形成竞争性吸收，因此，过量摄入一种或多种这些矿物质，可能会降低铁的吸收率。特别是如果平时服用钙补剂，很可能会降低铁的吸收。

红细胞分解增加 大量的研究已经证明，运动员的溶血率比非运动员高[80]。当外力引发红细胞冲击性破裂或早期破裂时，会发生溶血现象。运动员红细胞的平均寿命大

约是 80 天，而非运动员红细胞的平均寿命则约是 120 天。长跑运动员以及其他从事震动性体育项目的运动员，由于足部频繁冲击地面，发生溶血现象的风险可能会加大，但也有资料记载游泳运动员与舞蹈者也发生过溶血现象[76]。足部冲击地面对发生溶血现象的影响是很明显的——词组“足部冲击性溶血症”（foot strike hemolysis）通常用来描述这种情况。特别需要指出的是，运动员运动时的地面越硬，发生溶血的可能性就越大[81, 82]。

汗液中铁丢失 汗液中铁的浓度很低（每升汗液大约含 0.2 毫克铁），但长时间耐力性运动中的汗液流失可能会非常高（出汗率可能超过 2 升 / 小时），以至于丢失大量的铁[83]。虽然这些从事极长时间耐力训练的运动员，在训练期会由于大量出汗而增加铁大量丢失的风险，但是其他项目运动员由于出汗丢失的铁却是微不足道的[84]。

失血而造成的铁丢失 典型的失血是经期失血或者胃肠道失血。当然，运动员献血也会丢失大量的铁。胃肠道失血似乎很普遍，有高达 85%的从事剧烈耐力项目的运动员存在该现象[85]。运动员经常服用的、用来控制肌肉疼痛的非甾体类抗炎药，如阿斯匹林与异丁苯丙酸，可以导致一定程度的胃肠道发炎与失血[86]。

稀释性假贫血（运动性贫血） 许多运动员都曾经历过运动性贫血，特别是在大强度训练初期。大强度训练初期，伴随着血容量增加，血液组成成分稀释。与其他形式的失血一样，由于血液组成成分没有减少，氧运输能力保持在原有的水平（从而得名假贫血）。几周以后，血液组成成分（包括红细胞）增加，浓度达到正常水平。力竭性运动尤其能够导致血容量的减少；训练后时期，血浆经过再水合作用，得以有利的恢复与提升[86]。更大强度训练后，特别是在耐力项目中，血浆量将随之升高并达到最大，并在训练后高达 5 天保持不变[81]。真正的缺铁性贫血所涉及的红细胞［即小于红细胞平均体积（MCV）］与贮存铁（即铁蛋白较少）的数量较少，但是运动性贫血与这些生物指标都没有关系。

铁缺乏与缺铁性贫血 由于携氧能力对运动耐力起关键作用，所以运动员应尽量避免铁营养缺乏。除了在运送氧方面的重要作用之外，铁对于大量的能量转运酶具有重要作用，还参与正常的神经与行为功能以及免疫功能[87]。

大约 20%的处在生育年龄的女性有铁营养缺乏现象，而在绝经妇女以及男性中的发生率大大减少（1%~5%）[88]。铁营养缺乏并伴有贫血（即低血红蛋白、低红细胞容积、低红细胞平均体积、低铁蛋白）的现象（占人口的 1%~3%）不多。运动员铁营养缺乏较为普遍，但缺铁性贫血的几率较低。而且，运动员对出现明显贫血症（红细胞数量与体积减少）与缺铁性贫血（低血清铁与低存贮铁，但红细胞正常）的反应不同[89]。就被评估的各个运动群体的实际报道情况来看，患缺铁性贫血风险最高的人群是优秀长跑运动员[90, 91]。

虽然铁营养缺乏的运动员都经历过表现不佳的情况，但是服用铁剂对处于正常铁状态的运动员看起来并无益处[92]。而且，铁剂通常伴随恶心、便秘与胃疼。但是，对于血液测试中出现贫血或贮存铁处于临界水平的运动员来说，补充铁剂还是有益的。通常，铁补充疗法是口服硫酸亚铁，但对于胃肠不适的运动员来说，服用葡萄糖酸亚铁可

以表现出更好的耐受性。由于有潜在的严重副作用，通常不建议进行铁肌肉注射 [81]。

摄入铁剂的频率始终是争论的话题。一些人建议补充铁剂的最佳方式是，每隔一天或两天服用 25~50 毫克，而不是每天都服用，这样可以减少发生潜在不良副作用的几率 [93]，也可以防止胃肠不适，而且能够获得与每天服用同样的好处。当然，如果没有铁缺乏症或缺铁性贫血症，应避免服用铁剂。随着血色沉着病（铁超载症）的危险日益加大（此病可能对 1%的具有北欧血统的人产生影响），铁剂可能会掩盖乳糜泻与结肠癌 [94]。过量的铁贮存可能存在于职业公路自行车运动员中，他们习惯性地服用过量的铁剂 [95]。

锌

锌参与合成大量的酶，其中有许多酶在能量代谢以及伤口愈合时发挥作用。锌膳食摄入不足时会导致许多健康问题，包括生长缓慢、伤口愈合慢以及免疫系统功能障碍 [96]。锌在去除细胞中二氧化碳的过程中起重要作用，还是一种抗氧化酶——过氧化物歧化酶的组成部分。过量摄入锌可能导致贫血、呕吐与免疫系统障碍。肉类、动物肝脏、鸡蛋与海鲜都是锌的丰富来源。成人对锌的 RDA 量是每天 12~15 毫克。

表 2.27 锌快速指南

符号	Zn
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：11 毫克 / 天 成年女子：8 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	11 ~ 15 毫克 / 天
功能	合成部分酶参与能量代谢、蛋白质合成、免疫功能、感觉功能以及性成熟
含量丰富的食物来源	肉、鱼、家禽、贝类、鸡蛋、全谷类食物、蔬菜、坚果
营养缺乏症状	伤口愈合与免疫功能障碍、食欲减退、发育停滞（儿童）、皮肤干燥
毒性	耐受摄入上限（UL）：40 毫克 / 天 症状：免疫系统受损、伤口愈合慢、味觉减退、嗅觉减退、LDL：HDL 胆固醇比率高、恶心

已发现在耐力型男女运动员中存在锌水平处于正常范围低线或者更低的现象。血清锌水平较低的运动员运动量较低，可能是由于血清锌水平低的运动员不能像血清锌水平较高的运动员一样进行大强度的训练 [97-99]。因此，对少数锌水平低的运动员来说存在训练弊端。关于锌补剂对运动成绩的影响，并没有得到广泛研究，并且在研究中补剂剂量极高（大约每天 135 毫克）。而且，在实验之前，并没有对受试者的锌状态进行评估。尽管如此，这种摄入水平确实能够提高肌肉的力量与耐力 [100]。最近一项针对优秀运动员的研究发现，正常的锌状态与剧烈训练中运动员对于抗氧化机制的反应能力之间存在着明显的正相关关系 [101]。或许膳食不足以及通过汗液丢失达到理想体重的运动员，发生与锌营养不良相关潜在问题的几率最大。据报道，膳食不足以及大量的汗液丢失，已经损害到运动员（通常是体操运动员与摔跤选手）的生长并造成锌营养缺乏 [102]。

由于尚未有人对长期摄入高剂量的锌进行测试，因此，很可能会产生不良的副作用，摄入高剂量锌补剂很可能会造成其他营养素中毒与吸收障碍，运动员必须谨慎[103-105]。

碘

碘是合成重要的激素——甲状腺素所必需的。甲状腺素参与调节代谢速率、生长与发育。碘缺乏会导致甲状腺肿（脖子前边甲状腺的肿胀物）。甲状腺肿一度在美国很普遍，但是碘盐的使用消除了这种情况。过量摄入碘会抑制甲状腺的活性，因此不提倡服用碘补剂。

表 2.28 碘快速指南

符号	I
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：150 微克 / 天 成年女子：150 微克 / 天
运动员推荐摄入量	120~150 微克 / 天
功能	合成甲状腺激素（该激素参与代谢控制）
含量丰富的食物来源	碘盐与海鲜（取决于土壤，一些蔬菜也可能含碘丰富）
营养缺乏症状	甲状腺肿（甲状腺肿胀，甲状腺素分泌不足），并伴随肥胖
毒性	甲状腺素分泌不足

硒

硒是人类营养素中一种重要的抗氧化矿物质。由于运动（尤其是耐力运动）会使肌纤维产生具有潜在氧化破坏性的副产品（过氧化物与自由基），所以硒在降低肌肉氧化应激方面有一定作用[106]。硒营养缺乏会导致肌肉无力并延长力竭运动后的恢复时间[107]。但是，很少有证据证明加大硒补剂的摄入能够提高运动成绩[108]。成年男女硒的膳食参考摄入量是 55 微克 / 天。营养补剂，包括亚硒酸钠与高硒酵母，是硒的有效来源，但是过量摄入会引起中毒，因此服用合适剂量的硒是很重要的。成人的安全上限被设定为 400 微克 / 天，中毒的标志是头发与指甲易脆。

表 2.29 硒快速指南

符号	Se
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：55 微克 / 天 成年女子：55 微克 / 天
运动员推荐摄入量	50~55 微克 / 天
功能	抗氧化剂（谷胱甘肽过氧化物酶的成分）
含量丰富的食物来源	肉、鱼、海鲜、全谷物食品、坚果（取决于土壤，一些蔬菜也可能富含硒）
营养缺乏症状	不常见；如果发生，则会导致心脏损伤
毒性	耐受上限（UL）：成人 400 微克 / 天（儿童更少些） 很少出现毒性；如果发生，则会导致恶心、胃肠不适与脱发

铜

铜是比较重要的微量元素之一，存在于多种酶中，在血液、脑与肝脏中也有含铜的蛋白质。在过氧化物歧化酶防止细胞的氧化损伤过程中，铜的作用是非常重要的。铜缺乏与无法利用铁合成血红蛋白与肌红蛋白有关。成年人铜的膳食参考摄入量是900 微克 / 天，成人的安全上限被设定为 10000 微克 / 天。过量摄入铜会导致胃肠不适或肝脏损伤。富含铜的食物有贝类、大豆制品、豆类、坚果、种子果实、动物肝脏与土豆。过量摄入钙、磷、铁、锌与维生素 C 可降低铜的吸收，这可以作为保持营养平衡的又一个很重要的例子。

很少有人研究铜与运动成绩之间的关系。关于运动员与非运动员血铜浓度的研究并没有揭示有任何明显的差别，但运动员的血清铜浓度比非运动员稍高（3%~4%）[109]。在一项针对比赛期游泳运动员铜状态测定的研究中发现，赛期前与赛期后铜状态并无差异。在这项研究中，绝大多数游泳运动员都从食物中摄取了充足的铜（大于 1 毫克 / 天）[110]。

表 2.30 铜快速指南

符号	Cu
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：900 微克 / 天 成年女子：900 微克 / 天
运动员推荐摄入量	900 微克 / 天
功能	铁转运蛋白血浆铜蓝蛋白的组成成分、氧化反应
含量丰富的食物来源	肉、鱼、家禽、贝类、鸡蛋、坚果、全谷物食品、香蕉
营养缺乏症状	很少；如果发生，则会导致贫血（无法向红细胞输送铁）
毒性	耐受上限（UL）：10 毫克 / 天 很少中毒；如果发生，则会导致恶心与呕吐

锰

锰是一种参与骨骼形成、免疫功能、抗氧化反应以及碳水化合物代谢的微量元素[111]。虽然锰营养缺乏很少见，但如果发生则会伴随骨骼问题（骨骼矿物质含量低，骨折的风险增大）并对伤口愈合不利。膳食摄入不足或吸收不良的人看起来发生营养缺乏的风险最大。锰与钙、铁、锌形成竞争性吸收，因此过量摄入任何其中的一种矿物质都会降低锰的吸收，并导致营养缺乏症状。与铁非常相似，摄入维生素 C 与肉类也会促进锰的吸收。锰的食物来源包括咖啡、茶、巧克力、全谷物、坚果、种子果实、大豆、干豆类（菜豆、小扁豆、干裂成两半的豌豆）、动物肝脏与水果。与其他几种矿物质一样，摄入草酸（存在于深绿色多叶蔬菜中）含量高的食物可能会抑制锰的吸收（参见第 44~46 页关于钙的章节：减少食物中草酸含量的方法）。成人对锰的 DRI 是男性 2.3 毫克 / 天，女性是 1.8 毫克 / 天。对成年男女安全上限都是 11 毫克 / 天，过量摄入会

导致神经症状。与铜相似，过量摄入钙、磷、铁、锌、纤维与草酸都会降低锰的吸收。

表 2.31 锰快速指南

符号	Mn
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：2.3 毫克 / 天 成年女子：1.8 毫克 / 天
运动员推荐摄入量	2.0~2.5 毫克 / 天
功能	能量代谢、脂肪合成、骨骼的构成
含量丰富的食物来源	全谷物食品、豆类、绿色多叶蔬菜、香蕉
营养缺乏症状	儿童生长发育缓慢
毒性	耐受上限（UL）：11 毫克 / 天 症状：神经问题、意识模糊、容易疲劳

铬

由于铬可以帮助细胞利用葡萄糖，所以铬是广为所知的葡萄糖耐受因子（GTF）。铬缺乏症表现为血糖维持力低下（低或者高血糖症）、胰岛素分泌过量（血胰岛素增多）、过度疲劳以及偏爱甜食（低血糖症是血糖过低；高血糖症是血糖过高）。还会伴随着易怒（血糖控制力低下的一种常见情况）、增重、成年型糖尿病以及心血管病的危险增加[112]。一些证据表明，频繁的高强度训练（职业运动员的常见现象）会增加铬营养缺乏的风险。大量进食单糖（糖果）也会导致人们发生铬营养缺乏。铬的膳食来源包括全谷物面包与谷类食品以及肉类。营养补剂（通常以吡啶甲酸铬的形式）通常作为降低体重与体脂的一种手段，但对这种补剂的研究得出的结果却不尽相同。对吡啶甲酸铬补剂的最初研究表明，这种补剂能够有效地增加健身爱好者与足球运动员的肌肉质量，并降低体脂[113]。但是，随后经过控制的研究却没有得出同样的结论[114，115]。其他铬补剂包括烟酸铬、氯化铬与高铬酵母。成人铬的膳食参考摄入量是女性 25 毫克 / 天，男性 35 毫克 / 天。虽然过量摄入铬能够导致慢性肾衰竭，但是尚未确定安全上限。

表 2.32 铬快速指南

符号	Cr
膳食参考摄入量（DRI）	成年男子：35 微克 / 天 成年女子：25 微克 / 天
运动员推荐摄入量	30 ~ 35 微克 / 天
功能	葡萄糖耐受（葡萄糖–胰岛素控制）
含量丰富的食物来源	啤酒酵母、蘑菇、全谷物食品、坚果、豆类、奶油
营养缺乏症状	葡萄糖耐受不良
毒性	不太可能

由于铬吸收不好，几乎没有证据表明过量摄入铬会导致中毒。但是，目前尚无对铬中毒进行的直接测试，所以运动员必须小心服用补剂。一项研究表明，吡啶甲酸铬具有

改变DNA，从而产生变异的癌细胞的可能[116]。总的来说，对这种微量元素的研究表明，为了维持铬的最佳营养作用，运动员应当进食低糖食物，膳食中应当含有全谷物与肉类食品（如果不是素食主义者的话）。

3 液体与电解质

与维持高水平运动成绩相关的唯一关键性因素可能是如何维持运动中的体液平衡。尽管如此，在训练和竞赛中，大多数运动员会出现脱水（导致血容量下降），从而导致运动能力下降。研究表明，即便能补充液体，运动员也可能存在一定程度的脱水，对成绩产生不可避免的负面影响。运动中必须通过汗液的蒸发带走大量热量，因此，运动员除了寻求维持水合状态的策略以外，没有维持运动能力更为合理的备选方案。如不能维持水合状态，将导致疲劳提前出现，还可能发生威胁生命的心绞痛。本章讨论了达到和维持最佳水合状态的相关方法，并回顾各种“理想”运动饮料中最佳碳水化合物和电解质浓度的相关研究。

水是血液的主要成分，输送氧气、营养物质、激素等至细胞，带走细胞新陈代谢副产物。水还具有保护功能，预防脊髓和大脑遭受突发性损伤，是人体温度调节机制的关键成分。水及电解质成分参与渗透压的控制，可调节细胞内外的液体含量（关于人体水组成的明细表，见表 3.1）。

表 3.1 水在哪里

• 个人总体重的 66%来自于水
• 人体总水分的 65%为细胞内液
• 人体总水分的 35%为细胞外液
• 水分充足的肌肉中约 75%为水分
• 骨骼中约 32%为水分
• 脂肪基本上无水分，含水量仅为 10%
• 血液中约 93%为水分
• 男性平均含水量约为 60%
• 女性平均含水量约为 50%
• 肥胖个体含水量约为 40%
• 运动员含水量约为 70%

注：肌肉含量越高，人体脂肪含量越少，人体水分占总的体重的比例越大。

身体含水量充足是指运动员水分状态良好或水分正常；如含水量低于正常人体水平，称为水分过少，如情况严重则称为脱水；如果含水量高于正常人体水平，称为水分过多。人有对身体水分进行调控的系统，通过渗透压感受器和容量感受器刺激分泌的一系列激素进行调节，增加或减少人体水分，其中渗透压感受器监控血液渗透压变化，容量感受器监控细胞外液的水容量。

液体和新陈代谢副产物的排出是肾脏的主要功能之一，激素与酶调节肾脏对水分和电解质的排出或保留。钠浓度是影响细胞外液渗透压的主要因素，它维持在一个较小范围以内。由于汗液是低渗的，长时间的运动会引起较高的血浆渗透压（水分的丢失高于钠）。在运动中和运动后尿液量轻微减少，是保持人体水分的方式之一[1, 2]。

如果血液中单位液体量中钠、蛋白质或葡萄糖浓度较高（例如：高渗），为了使电解质的浓度恢复正常，则需从细胞中吸收水分。下丘脑中的感受器通过其渗透压感受器探测到血液为高渗时，将促使脑垂体释放抗利尿激素（ADH)。抗利尿激素通过产生高浓度的尿液迫使肾脏重新吸收更多水分[3]。所以，通过尿液颜色可以对水合状态进行简单的测试，尿液颜色深时，表明比颜色浅时更缺水。渗透压感受器也可以感应口渴感，然而在水分损失 1.5~2.0 升（1 升近似等于 1 夸脱；见表 3.2）以前很少会感觉口渴。

表 3.2 常规转化

* 将华氏温度转化为摄氏温度，减去 32 再除以 1.8
* 将摄氏温度转化为华氏温度，乘以 1.8 再加上 32
* 将夸脱转化为升，用夸脱乘以 0.946
* 将升转化为夸脱，用升乘以 1.057

在体育锻炼中，运动员几乎不可能摄入足够的液体来维持身体水分的平衡，当感觉口渴时，运动员已经在逐渐恶化的缺水状态中进行运动了。

当水分过多时，电解质、蛋白质和葡萄糖的浓度低于血液中的正常值。此时抗利尿激素的分泌停止，尿液稀释。液体倾向于从血液中进入到细胞，调节此低渗状态。

钠是主要的细胞外电解质，血容量受到钠浓度的影响。较高的钠浓度与血容量的最终增加相关，这是由于人体试图维持单位液体中钠的正常浓度。与之相反，较低的钠浓度通常与血容量的最终减少相关。为调节钠摄入的自然变化，醛固酮激素分泌以升高钠离子浓度，当钠浓度较高时，醛固酮停止分泌，促使多余的钠排出。



运动员需要在赛前通过摄入充足的水分来预防脱水，而非等到口渴才补充水分，口渴时身体已经脱水。

正常情况下，容积控制、渗透压感受器、抗利尿素和醛固酮的调节可维持相对稳定的血容量，在液体和钠消耗变化时也是如此。运动导致抗利尿激素和醛固酮的分泌增加，两者均可维持人体水分和钠离子的平衡。该系统十分有效，由于液体缺乏导致生理病症的情况极为罕见，即便对于运动员也是如此。但高强度或长时间（或者两者皆有）的运动，特别是在炎热潮湿的环境中，由于液体损失（通过汗液）可能超过运动员摄入和吸收的液体，会使运动员处于脱水风险之中。可能导致血容量逐渐降低，出汗减少，对成绩和健康产生负面影响等其他问题。因此，保持运动员的液体平衡尤为重要（维持液体平衡的特殊益处，见表 3.3）。

表 3.3 维持液体平衡的益处

运动中维持液体平衡，可以通过以下途径改善运动能力：
* 减缓心率增加
* 减缓核心温度上升
* 改善心搏量
* 改善心输出量
* 改善皮肤血液流动
* 减少较高的血浆钠、渗透压和肾上腺素
* 减少净肌肉葡萄糖的使用

液体损失和摄入平衡

体育运动会产生热量，运动员必须散热以便继续进行活动。热量不能消散最终将引起中暑，甚至可能死亡。出汗是散热的主要机制之一；当汗液从皮肤表面蒸发时，可以降低体温。汗液产生不足将导致身体过热。运动员储水能力有限，出汗量大，体育活动中必须摄入液体以保持出汗量。

高温环境下，运动员剧烈运动时每小时丢失 2.5 升汗液。汗液中含有电解质（主要为氯化钠，还有钾、钙和镁），其中钠的浓度为 20~80 毫摩尔 / 升，钠浓度取决于饮食中通常的消耗、出汗量、高温适应性（适应较好时钠丢失较少）以及运动中的饮水量和饮水次数（汗液、血浆和细胞内液中的电解质浓度，见表 3.4）[4]。

表 3.4 汗液、血浆和细胞内液的电解质浓度

	汗液（mmol/L）	血浆（mmol/L）	细胞内液（mmol/L）
钠	20 ~ 80	130 ~ 155	10
钾	4 ~ 8	3.2 ~ 5.5	150
钙	0 ~ 1	2.1 ~ 2.9	0
镁	<2	0.7 ~ 1.5	15
氯化物	20 ~ 60	96 ~ 110	8
碳酸氢盐	0 ~ 35	23 ~ 28	10
磷酸盐	0.1 ~ 0.2	0.7 ~ 1.6	65
硫酸盐	0.1 ~ 2.0	0.3 ~ 0.9	10

Reprinted from R.J. Maughan, 1994, Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. In *Oxford textbook of sports medicine*, edited by M. Harries, et al., pp. 82-93, by permission of Oxford University Press.

汗液中电解质浓度与血浆和细胞内液的电解质浓度不同，随着剧烈的体育运动，可能引起电解质的不平衡。每丢失 1 升含有 50 毫摩尔 / 升钠的汗液等于丢失近 3 克的氯化钠。运动员每小时丢失 2.5 升汗液，2 小时内约丢失 15 克钠，超过了每日正常摄入钠的水平[5]。

温度调节指产生或接收的热量（吸热）与消除热量（散热）之间的平衡，当身体的温度调节系统正常工作时，吸热和散热处于良好的平衡状态，体温得以维持。内部和外部因素均可对体温产生影响。来自太阳的辐射热量对体温所产生的作用，与燃烧燃料（碳水化合物、蛋白质或脂肪）产生的热量一样。无论如何，运动员都必须寻求一种方法消除附加在身体上的相等热量，以维持体温的恒定。

散热的两个主要系统包括（1）输送更多的血液到皮肤以允许通过放射进行散热；(2) 增加出汗频率。人休息时两个系统占散热的 85%。通过传导（热量从温度较高的身体自然传递到较冷空气环境）和传递（热量从组织传递到血液并且通过皮肤）消散的热量占散热量的 15%。但在运动时，几乎所有散热都通过蒸发（汗液）完成（图 3.1）。

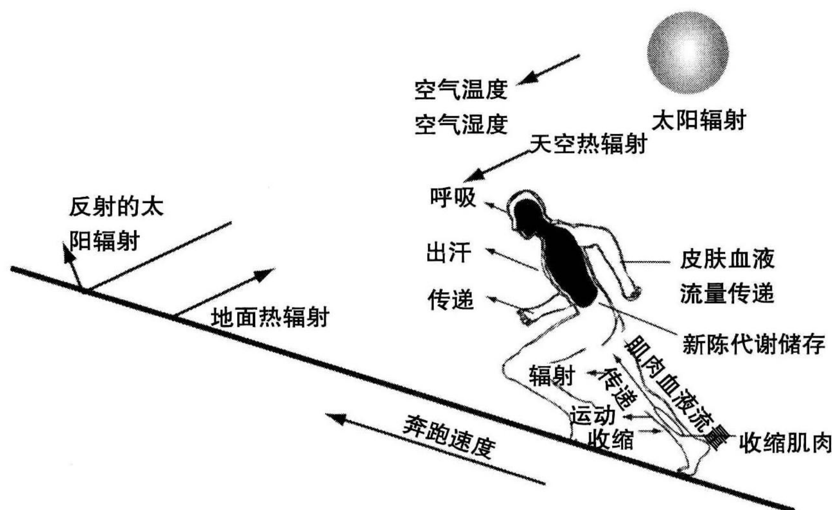


图 3.1 运动中运动员体内的产热和散热系统

Reprinted, by permission, from M.N. Sawka, W.A. Latzka and S.J. Montain, 2000, Effects of dehydration and rehydration on performance. In *Nutrition in sport*, edited by R.J. Maughan (London, England: Blackwell Science), 205.

两个系统均依赖于充足的血液容量。血容量较低致使输送到皮肤的血液减少，产生的汗液减少。运动中的肌肉需求更多的血流量，以传输营养物并带走燃料燃烧所产生的副产品。但与此同时，还要使血液流经皮肤以增加出汗率。血容量的降低致使这些系统出现一或两个故障，就会影响运动员的比赛发挥。事实上，很多人认为血容量是运动员的表现能否保持良好状态的主要指标。

能量代谢中仅 20%~40%有效，表明只有 20%~40%的食物能量可转变为肌肉活动所需的机械能量。与热量一样，剩余 60%~80%的食物能量被燃烧并损失。然而当能量燃烧的速度加快时，例如在体育运动时，增加至系统中的热量将急剧上升，散热系统必须“调大”。剧烈运动时产生的热量是休息时的 20 倍。如缺少高效的散热方法，体温将迅速上升。人类生存的体温上限约为 43.3℃，或比正常体温高 6.3℃。体温有可能每 5 分钟即上升约 1℉。因而，可以想象，一个体内水分不足的运动员在开始运动后不到 1 小时就可能处于中暑和死亡的危险中。

运动员进行 30 分钟的轻微运动，可燃烧 300 千卡的能量，其中肌肉活动消耗约 75 千卡的能量，其余 225 千卡以热量的形式消耗 [6]。机体通过散发多余的热量以保持正常的体温。运动员在 30 分钟内进行前者两倍强度的运动时，为了保持体温要额外消耗 450 千卡。以 1 毫升的汗液可散发 0.5 千卡的热量计算 [7]，在 30 分钟内运动员约丢失 900 毫升（约 1 升）汗液。进行 1 小时高强度运动，约丢失 1.8 升水。在晴天和热天，太阳的热量加上肌肉活动产生的热量，运动员要排出更多的汗以散发更多的热量。而在湿热天气下进行剧烈运动时，对液体的需求量更高（图 3.2）。天气潮湿时，汗液不易经皮肤蒸发，必须产生更多的汗液，此时人体很容易丢失 1~2 升 / 小时液体（通过汗液）。

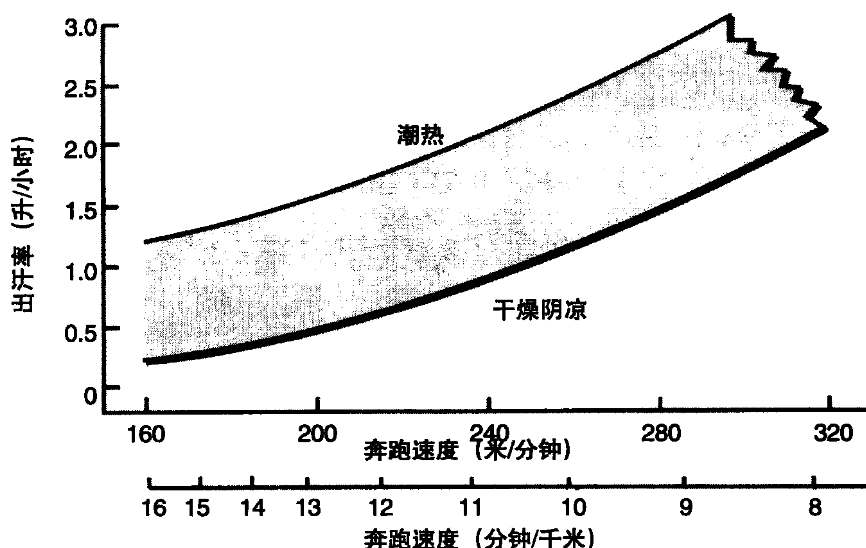


图 3.2 不同天气条件下和不同运动强度过程中的出汗率

Reprinted, by permission, from M.N. Sawka, W.A. Latzka and S.J. Montain, 2000, Effects of dehydration and rehydration on performance. In *Nutrition in sport*, edited by R.J. Maughan (London, England: Blackwell Science), 217.

经过良好训练的运动员在潮热环境中运动时，每小时可丢失 3 升以上的液体。为防止运动员处于所增加的热应力危险之中，人们制定了热指数（表 3.5）。该指数将环境温度和相对湿度两大因素包含在内，以确定运动的危险性。

影响体液流失的因素

由于汗液的渗透压低于血浆（即汗液是低渗的），大量排汗增加了血浆渗透压。到目前为止，血浆渗透压的增加是否影响运动个体的体温或冷却能力尚不清楚，但是渗透压和血容量的变化确实能刺激肾脏重新吸收钠，并通过产生浓缩的尿以减少尿液的排出。

影响运动员的出汗速度有几方面因素。周围环境温度较高引起出汗的可能性较大，而湿度较高同样是造成大量出汗的原因，但由于水汽气压梯度和皮肤温度很低，在潮湿环境中冷却的可能性较低（即经皮肤蒸发的速度减慢）。在加快皮肤出汗（即不透风）的衣服中也存在同样的问题。这种类型的衣服降低冷却效率，增加出汗速度（如衣服被汗湿透，并不意味着运动员能有效地控制体温，只意味着他或她在丢失水分）。一些专为运动员设计的新材料确实可吸收皮肤中的汗水，从而增强了蒸发效率。身体表面面积大的运动员出汗能力可能增强，从而加大了热量的蒸发散热。但这些运动员同样会通过炎热天气下的辐射和对流，从环境中获得更多的热量 [8]。运动员的锻炼和训练状态对体温调节起着重要作用。身体好的运动员出汗量可能更多，从而增强了身体的散热能力。但出汗速度较快要求在运动中摄入更多的水分，以避免较高的热应力风险。

表 3.5 热指数

相对湿度	环境温度 ℉（℃）										
	70 (21)	75 (24)	80 (27)	85 (29)	90 (32)	95 (35)	100 (38)	105 (41)	110 (43)	115 (46)	120 (49)
	表观温度 ℉（℃）										
0%	64 (18)	69 (20)	73 (23)	78 (26)	83 (28)	87 (30)	91 (33)	95 (35)	99 (37)	103 (39)	107 (42)
10%	65 (18)	70 (21)	75 (24)	80 (27)	85 (29)	90 (32)	95 (35)	100 (38)	105 (41)	111 (44)	116 (47)
20%	66 (19)	72 (22)	77 (25)	82 (28)	87 (30)	93 (34)	99 (37)	105 (41)	112 (44)	120 (49)	130 (54)
30%	67 (19)	73 (23)	78 (26)	84 (29)	90 (32)	96 (36)	104 (40)	113 (45)	123 (51)	135 (57)	148 (64)
40%	68 (20)	74 (23)	79 (26)	86 (30)	93 (34)	101 (38)	110 (43)	123 (51)	137 (58)	151 (66)	
50%	69 (20)	75 (24)	81 (27)	88 (31)	96 (36)	107 (42)	120 (49)	135 (57)	150 (66)		
60%	70 (21)	76 (24)	82 (28)	90 (32)	100 (38)	114 (46)	132 (56)	149 (65)			
70%	70 (21)	77 (25)	85 (29)	93 (34)	106 (41)	124 (51)	144 (62)				
80%	71 (22)	78 (26)	86 (30)	97 (36)	113 (45)	136 (58)					
90%	71 (22)	79 (26)	88 (31)	102 (39)	122 (50)						
100%	72 (22)	80 (27)	91 (33)	108 (42)							

体表温度	体育活动或长期暴露的热应力危险
90~104℉（32~40℃）	可能发生热痉挛或热衰竭
105~129℉（41~53℃）	很有可能发生热痉挛或热衰竭
·	可能中暑
130℉及以上（54℃及以上）	极其可能中暑

注：此图表为评估热应力的潜在严重程度提供了基本准则。个人对热的反应是变化的。比表中温度更低的情况下，也可能会发生中暑。曝晒在十足的阳光下，数值可增加 15℉。

运动员的体液平衡状态是影响因素之一。水合状态越好，越容易出汗。随着运动员的逐渐脱水，出汗速度减慢，体温上升。运动中液体的补充量很少超过每小时两杯（480 毫升），或仅仅是通常汗液丢失量的 30%~40%，这将不可避免地导致运动员脱水。马拉松运动员在 50~54℉（10~12℃）的凉爽温度下比赛体重下降为总体重的 1%~5%[9]，在温暖的天气下比赛体重下降为总体重的 8%，或体内水分总量的 12%~15%[10]。

影响液体摄入的因素

口渴和味觉是影响液体摄入的两个主要因素。口渴是一种与身体对额外液体需求相关的口腔和喉咙里的干燥感觉。味觉是人类对食物入口后所产生的反应（或好或坏）。人们更喜欢摄入他们喜欢或感觉味道不错的食物。大多数运动员会出现“自动脱水”，尽管可轻易获得大量液体，但他们的摄入量并不足。运动员液体摄入不充分，很可能是由于没有口渴的感觉。

觉得口渴可能是出于习惯、惯例及对于温暖（热的液体）或冷却（凉的液体）效果的需要[11]。血浆渗透压仅增加2%~3%就会产生口渴的感觉；而液体容量减少的敏感度则更低，血容量降低近10%才会觉得口渴[12, 13]。口渴感觉，通常被认为是运动员的延迟感受，当运动员体内已丢失1.5~2.0升水后，才会感觉到口渴。因此，对于运动员而言口渴感觉并不是良好的液体需求信号[14]，出现口渴的感觉后才开始摄入液体，将无法在运动中恢复到充分的水合状态。这一口渴机制明显推迟了运动员的水分摄入，因此无论他们是否感觉口渴，都应训练他们按预定计划补充液体。

饮料是否吸引人以及是否会被饮用，颜色、味道、气味、温度和品质都起着重要作用。运动员往往偏爱味道微甜的凉爽饮料。训练中，加入大量甜味的饮料（约12%的碳水化合物溶液）不如只含有6%或7%的碳水化合物饮料受欢迎[15, 16]。然而在不训练时可能会发生相反的情况，这一现象十分有趣：在训练和不训练两种情况下，食物和饮料口感不一样。因此，聪明的运动员会选择最适合在运动时饮用的饮料。

胃排空和液体输入运动肌

液体在胃中排空的速度受几方面因素的影响。胃排空为单位时间内食物或饮料排出胃的量。属于慢速胃排空的食物和饮料，需要较长的时间才能完全排出胃。这意味着这些物质将比较缓慢地进入小肠，而且这些食物和饮料在胃里停留的时间较长。

溶液中碳水化合物的浓度 运动员摄入的运动饮料和其他饮料通常都含有碳水化合物。当液体中的碳水化合物浓度高于7%时，胃排空时间缩短，如果浓度低于7%，则胃排空的时间不会受到显著影响，这表明胃排空的时间与饮料浓度有关[17]。基于此原因，建议运动饮料中碳水化合物的浓度低于8%[18]。尽管如此，一些超耐力运动员仍在“训练”他们的肠胃承受较高的浓度，因为他们非常需要额外的碳水化合物。

溶液中碳水化合物的类型 碳水化合物并非同一结构，它们具有不同的分子大小和分子组合。例如，葡萄糖[19]是单糖（一种单分子碳水化合物），蔗糖是双糖（两个单糖分子通过化学黏合剂结合在一起），淀粉是多糖（单糖的许多分子通过化学黏合剂组

合在一起）。碳水化合物链的长度越短，胃排空的时间就越慢。因此，热量相同的纯葡萄糖（单糖）比蔗糖（双糖）的胃排空时间要长，而蔗糖又比单一的淀粉（多糖）消耗的时间要长[20]。

摄入的液体量 液体的一次摄入量对胃排空时间的影响十分重要。摄入大量液体时，胃排空时间将开始加快，而当胃里液体量减少时，胃排空时间延缓。为了在比赛或训练前达到水合状态，运动员应摄入420~660毫升的液体，然后不时地补充液体以保持胃中的液体量，从而维持较快的胃排空时间[21, 22]。

溶液的温度 饮料温度仅对胃排空时间产生轻度影响。当人们处于休息状态时，与体温相同的液体较特别热或冷的液体更快地排出胃[23]。但在训练中，凉的液体可能比接近室温或体温的液体能更快地排出胃[24]。尽管不影响胃的排空，但运动员可能更喜欢摄入凉的液体是重要因素之一。

溶液的碳化 运动员通常认为摄入碳酸饮料会引起胃痛和胃排空延迟（排第一的"运动饮料"可能是一种带气可乐），但几乎没有任何科学证据可证明这种现象。然而，评估液体碳化对胃排空时间影响的研究一般基于几个方面。这些研究表明，在其他条件均等（碳水化合物浓度、容量、温度等）的前提下，碳化作用对胃排空几乎没有影响[25, 26]。不过碳化作用确实会使运动员感觉更饱，从而降低喝水的欲望。但任何因素也不应消除运动员喝水的欲望，这样的饮料将对水合状态产生负面影响。

运动员的相对水合状态 与高强度活动相关的持续脱水和身体温度较高会使胃排空的速度减慢[27]。这为运动员在运动中维持水合状态提供了很好的理论根据。脱水将使运动员几乎不可能在运动中恢复到理想的水合状态，若试图通过大量补充液体来实现理想的水合状态，则有可能导致不适，而非更快的再水合状态。

精神压力的程度 运动竞赛引起的精神压力和焦虑是影响胃排空的主要因素之一。精神压力和焦虑水平较高会降低胃排空，严重影响比赛中的再水合能力[28, 29]。向运动心理学专家学习减轻压力的心理训练技巧，对于降低与运动相关的压力和焦虑所产生的生理影响至关重要。

体育活动的类型 与强度较低的运动相比，高强度运动与胃排空速度较慢关系更为密切，但差别很小。此外，运动类型（跑步、游泳、骑自行车）不会对胃排空速度产生较大影响[30]。

运动员的调节、适应作用和年龄

人体具有绝佳的适应机制（表3.6），能很好地适应较高或较低血糖浓度和较快或较慢的液体吸收速度。显然，运动员可以通过训练提高他们达到最佳水合状态的能力。因此，运动员应根据维持水合状态所需常规液体推荐摄入量，进行最适合自身的调整。

表 3.6 适应期间的身体调节

- 血浆容量增加，从而增加血液总量
- 心脏每次跳动可泵出更多的血液
- 流向肌肉和皮肤的血液增加
- 运动中，被视为能量来源的肌糖原较少
- 汗腺兴奋度增加，产生的汗液量增加 30%
- 汗液中的盐分减少约 60%，以保存电解质
- 核心温度较低时即开始出汗
- 与不适应时不同，核心温度不会过高过快上升
- 在同等锻炼强度下，心理压力感降低

体力对耐热能力的影响显著：体力不佳可大大增加男性和女性的中暑危险。然而，耐热能力的提高得益于出汗率的提高。由于儿童的汗腺较少，且单位腺体产生的汗量也较少，因此儿童运动员对热量的适应能力较低，与身体好的成人相比，通常被认为耐热能力较差[31]。体脂水平较高、身体较差的运动员耐热能力相对较差。简而言之，脂肪阻碍散热。当体脂含量较低、状态良好的运动员的身体状态进一步提升时，出汗速度也会加快，必须制定相应的策略以持续增加补水量。儿童和体脂含量较高的成人耐热能力相对较低，对他们而言，保持充足的水合状态更为重要。

肠吸收

当液体离开胃进入小肠时，摄入的溶液所含水合碳水化合物须通过肠黏膜被血液吸收。影响水合碳水化合物吸收速度的主要因素是进入小肠的溶液中碳水化合物的浓度[32]。与过高或过低浓度的溶液相比，浓度略低于血浆浓度的碳水化合物和电解质溶液吸收率更高[33]。浓度为 6%~7%的碳水化合物溶液可为快速吸收提供最佳平衡。运动中摄入高浓度碳水化合物溶液时，为了在吸收之前对该溶液进行稀释，可能导致液体暂时从肌肉细胞转入肠道。这会暂时引起一定程度的血浆和组织脱水，因此也将对肌肉功能和出汗率造成负面影响。

与液体相关的问题

热平衡（图 3.3）可由以下方程式描述[34]：

$$S = M \pm R \pm K \pm C - E \pm WK$$

热平衡（S）=生成的代谢热量（M），通过辐射（R）、传导（K）、对流（C）和蒸发（E）形式进行的热交换修正，并由完成的运动量（WK）进行进一步修正。



图 3.3 热平衡

Reprinted, with permission, from Sandor RP: Heat illness: on-site diagnosis and cooling. *Phys Sportsmed* 1997; 25(6): 35-40, © 2005 The McGraw-Hill Companies. All rights reserved.

脱水

当液体损耗量大于摄入时，发生脱水。根据定义，脱水意味着体内水分含量低于最佳含量。体内水分含量下降仅 2%即可导致运动成绩下降。导致机体脱水的常见危险因素有：

- 呕吐
- 腹泻
- 液体补充量不足
- 出汗率高（如在桑拿浴中）
- 泻药
- 利尿剂（以及具有利尿作用的物质，如大量摄入咖啡因）
- 节食
- 发烧

理论上最好的方法就是避免脱水。避免脱水的唯一方法是，在水分不断流失的同时不断补充等量水分。运动员了解脱水的征兆十分重要。口渴是明显的征兆之一，同时运动员还应学会检测尿液排出的量与颜色。尿液排出量减少和尿液颜色变深可能是先于口渴感觉的脱水征兆。

一些运动员通过脱水，获得更好的体形或达到具有竞争优势的体重等级，当他们可以轻易获得液体时，也不会补充液体（称为自愿脱水）；而其他运动员进行高强度训练时脱水，尤其在湿热的环境中，他们很难补充足量液体而导致脱水（称为非自愿脱水）。不论什么原因引起的脱水，都肯定会造成运动员的运动成绩不理想、心理状态不佳[35, 36]。

热痉挛

热痉挛——腿部和腹部的疼痛痉挛，通常由严重脱水造成的液体和电解质失调引起。一般发生在大量出汗的人身上，他们所消耗的钠和汗水中的其他电解质（包括钾、

钙和镁）高于正常值（表 3.7）。这类人群在运动中饮用足量含钠饮料十分有效。大量补充淡水后，有可能出现热痉挛[37]。初次出现非主动的肌肉抽搐或轻微的肌痉挛征兆时，运动员应该摄入溶有一茶匙食盐的 16 盎司（480 毫升）的运动饮料[38]。然后，在随后的运动中稳定摄入含钠运动饮料。为满足易发生痉挛运动员的需求，一些公司开发的一些产品在运动饮料中添加了定量的钠、钾、钙和镁。

表 3.7　易发生痉挛运动员的标志

- 有热痉挛史
- 摄入的钠不足（食用限制盐分的饮食）
- 在活动早期大量出汗
- 在运动过程中脱水较多
- 汗水中含有大量的盐分；刺激眼睛；尝起来咸味很浓
- 身体和衣服上可见（白垩的）盐
- 不适应湿热环境
- 有囊肿性纤维化家族史

热衰竭

热衰竭的症状包括虚弱、皮肤冷而黏湿、疲劳、恶心和脉弱感。当人体内严重缺水时，还有可能停止出汗，皮肤干燥。出现这些症状，可能是流向大脑的血液不足所致，并且患者通常会意识不清，躺在地上。快速降温通常能很好地缓解热衰竭症状。因此，热衰竭患者应尽可能地利用可采取的任何手段进行降温。给患者穿着潮湿、冰凉的衣服或将其放入冷水浴盆中均有效。在完全恢复意识之后，运动员可以啜饮凉爽的液体，由于可能引起恶心不宜强迫。发生热衰竭的运动员当天不宜恢复体育运动。相反，当天应保持凉爽，并补充含钠液体（如运动饮料），以保持或恢复体液平衡。注意：任何情况下，已停止出汗的运动员都不应继续运动，以免造成核心温度快速上升而发生危险。

中暑（日晒病）

中暑极其危险，典型症状是体温过高（通常超过 105 华氏度，或 40.5 摄氏度），皮肤热而干燥，脉搏加速，有可能出现运动员意识时有时无。应立即拨打 120 等急救电话（医院具有一流设备来处理此类威胁生命的情况），然后尽可能给运动员降温（通风、冷水、用海绵擦洗沐浴、松开衣物、冷水浴）。在运动员恢复意识前，不得食用流食。

中暑由若干因素引起，如表 3.8 所示[39]。

表 3.8 中暑的风险因素

内热负荷的增加

用力过度

药物（如拟交感神经药、咖啡因）

外热负荷的增加

温度

日照

散热的减少

外因

- 湿度
- 封闭的或过多的衣物

内因

- 脱水
- 缺乏环境适应性
- 愈合的灼伤
- 疹子
- 药物（如吩噻嗪、抗组织胺、酒精）

报告的易导致中暑的药物

拟交感神经药

安非他命

肾上腺素

麻黄素

可卡因

去甲肾上腺素

抗胆碱能药

硫酸阿托品

东莨菪碱 HBr

甲磺酸苄托品

颠茄及合成生物碱

抗组胺药

易导致中暑的药物（续）

利尿剂

速尿

双氢克尿噻

丁尿胺

吩噻嗪

普鲁氯哌嗪

盐酸氯丙嗪

盐酸异丙嗪

丁酰苯类

氟哌丁苯

循环抗抑郁剂

盐酸阿米替林

盐酸丙咪嗪

去甲替林盐酸盐

盐酸普罗替林

单氨氧化酶抑制剂

苯乙肼

硫酸反苯环丙胺

酒精

麦角酸二乙基酰胺（LSD）

锂

其他

同时发生的疾病（如上呼吸道感染、肠胃炎）

先前的中暑

Reprinted, with permission, from Sandor RP: Heat illness: on-site diagnosis and cooling. *Phys Sportsmed* 1997; 25(6): 35-40.

低钠血症

长期的训练可能导致运动员的血钠偏低（低钠血症），这是潜在的致命状况[40]。如果饮用水过量，就会稀释血液中的钠含量，产生低血钠。这可能导致快速而危险的脑部肿胀。钠的摄入量不足同样可能导致该症状。长时间训练并处于脱水状态的运动员最有可能出现低血钠现象，他们通过排汗丢失了大量的钠。习惯限制食物和饮料中钠含量的运动员，也有可能出现低血钠现象。除非医疗条件不允许，或运动员处于医生的细心监管护理下，通常应在饮食和饮料中增加盐分以避免血液中电解质偏低，降低发生低钠血症的风险。

低血钠的征兆和症状如下：

- 头痛
- 心理紊乱
- 恶心
- 痉挛
- 胃胀
- 手指和踝关节肿胀
- 肺水肿
- 癫痫
- 昏迷

2003年波士顿马拉松比赛之前，美国田径协会公布了长跑运动员的体液补充指南（新指南），以降低低钠血症的风险[41]。旧版本的指南中鼓励长跑运动员在口渴“之前”饮用的水越多越好，而新指南则建议运动员仅需补充在比赛过程中通过排汗流失的水分。新指南建议运动员饮用100%的排汗流失的水分量，无需增加。高摄入量，尤其是淡水的高摄入量可导致血钠浓度降低，从而发生低钠血症。下述运动员发生低钠血症的风险增高：

- 服用非甾体抗炎药；
- 低钠饮食；
- 训练过程中饮用水或其他低钠饮料；
- 不适应暖和气候或训练不佳；
- 进行慢跑，需要持续4个多小时的耐力项目。

大量出汗且汗液中所含钠浓度相对较高，以及饮用大量淡水（含钠较低）的运动员发生低钠血症的风险最高[42]。运动饮料通常含有约20毫当量（mEq）的氯化钠（食盐），但很多研究人员推荐更高水平的钠含量，他们曾对高温下进行长时间训练的运动员在运动中血浆的改变进行评估，建议每升饮料中应含20~50毫当量的钠[43, 44]。不过大多数出汗率正常且汗液中钠浓度正常的运动员，饮用运动饮料并避免在耐力性赛事中饮用淡水，都不会出现此症状[45]。

如果在训练中进食，咸味食物（如脆饼干）更为适宜。运动饮料同样是钠、水合碳水化合物的良好来源。长时间训练中的脱水较低血钠更为普遍。因此，在训练前保持体内水分充足，并在训练中饮用适量液体尤为重要[46]。

水合策略

在身体水分含量较低的情况下是不可能获得最佳的运动成绩和耐力的，因此运动员必须制订个体方案，在训练时维持最佳的水分含量。假设一瓶水代表你身体所处的最佳水合状态。没有训练时，它就像瓶子底部有个小孔，水位会以极慢且使你能轻松维持最佳水合状态的速度下降，由于水位下降缓慢，偶尔饮用一瓶水或其他液体就可维持水合状态。想象你在运动时的情形，相当于在瓶子底部开了一个铅笔孔：水分流失的速度更快。在短期内，水分丢失量足以影响运动成绩和耐力。此时再饮水并非合理的选择。如果不训练时的饮水频率是2小时一次，那么训练中的饮水频率应该是

10~15 分钟一次。训练时，水分丢失很快，很难（并非不可能）补充体内丢失的水量，且在训练中实际上难以增加体内水分。饮水时间间隔太长可能导致体内水分下降，以至于不能充分更换。如果渴了才饮水，你可以将体内的水分含量维持在当前水平，但此时的水平太低。

表 3.9 脱水对有氧耐力成绩的影响

- 如水分下降幅度>2%，成绩下降
- 对心血管功能以及温度调节造成负面影响
- 在一般环境下进行训练期间，有氧成绩最高降低 4% ~ 8%，体重减轻 3%
- 脱水和胃肠不适明显
- 肌肉细胞中的液体和电解质平衡受到干扰
- 高体温对心理过程的负面影响导致中枢性疲劳

如果不补充液体，血容量将快速下降，出汗率也会随之下降，体温将以每 5~7 分钟 1.8 华氏度（1 摄氏度）的速度快速上升，这是很危险的（脱水对有氧耐力的影响，见表 3.9）。由于在重体力活动中很难摄取大量液体，运动员应制订定时的饮水计划。如每小时丢失 1 升水，运动员应想办法保证每小时饮用 4 杯水。如运动员每小时丢失 2 升水，每小时就要饮用 8 杯水以上。当然，很难精确地了解活动中到底丢失了多少水分，但是一项简单的技术可以帮助运动员评估究竟丢失了多少。1 升水大约 1 公斤，1 品脱水大约 0.5 公斤。了解这样的换算关系，运动员可通过以下措施评估体育活动过程中应摄入的液体量：

1. 记录运动开始前的时间。
2. 以公斤为单位记录体重（最好是净体重）。
3. 进行正常训练并监测训练过程中所摄入的液体量。
4. 训练结束后立即脱掉汗湿的衣服，并用毛巾擦干。干燥后，以公斤为单位记录体重（最好也是净体重）。
5. 记录当前时间。
6. 通过最初体重减去最终体重计算液体损失量。
7. 通过最初时间减去最终时间计算训练时间。
8. 假定在 10~20 分钟的循环训练，训练期间所摄入的额外液体量应当按照每减轻 0.45 公斤体重补充 1 品脱水分（470 毫升）。

举例：如果约翰在 2 小时的橄榄球训练后体重减轻 2 公斤，他应该在训练期间摄入 4 品脱（1.9 升，8 杯）的液体。他已经摄入了 2 杯液体，所以约翰的总液体摄入量应该是 2 小时训练期间 10 杯液体。在这 2 小时过程中，有 12 个 10 分钟，所以约翰有 12 次机会消耗 10 杯液体。因此，约翰应该每 10 分钟摄入 200 毫升的液体，即超过 3 / 4 杯（10 ÷ 12 = 0.8），或者每 20 分钟摄入 380 毫升的液体（大约 1.5 杯）。

训练前的液体摄取量

运动员在开始训练或比赛之前身体处于最佳的水合状态至关重要。所有研究均表明，轻微的脱水（低至体重的2%）可导致明显的耐力和表现差异，而且，脱水程度越大，负面影响越明显[47,48]。此外，可能需要24小时或更长时间才能使脱水运动员恢复到良好的水合状态。因此，直到训练或比赛前才让运动员处于良好的水合状态，或者未采取任何措施以确保运动员处于最佳水合状态，将导致运动员的训练或比赛表现不佳。

在一些体育项目中，运动员需要保持特定的“外形”或减轻体重至规定体重。艺术体操的标准体形要求修长、优雅的曲线，本质上说，没有第二性征。比赛之前，艺术体操运动员通常限制水分的摄取量，认为有助于他们获得理想体形。摔跤运动员采用众所周知的体液控制方法，以便达到特定的体重级别。然而在比赛之前，他们有约24小时补充水分。除了健康危害（具有充分的证据证明脱水与死亡相关）之外，脱水的摔跤运动员在24小时内不可能补充到足够水分，所以也会影响到比赛表现。

另一方面，一些运动员试图在训练前补充过量水分。这是长跑运动员的典型策略，他们在比赛中的水分流失量将大于补水量。在比赛快要结束时仍具有良好水合状态的长跑运动员，比水合状态差的对手具有更明显的优势。如运动员补充的水分较多，他们可能在运动中保持更高血（血浆）容量，核心温度和心率较低，该运动员显示出良好的耐力和成绩表现提高的潜力[49,50]。摄入大量液体同样会导致尿频，但是可通过补充含钠液体进行调节[51]。同样，补水会提高训练中的出汗率，降低心率[52]。

甘油是一种简单的含有三个碳元素的脂类，像碳水化合物一样产生代谢变化（图3.4）。由于它可以像保湿剂一样发挥作用（也就是吸收水分），通常用于耐力运动员，帮助其保存更多的水分。

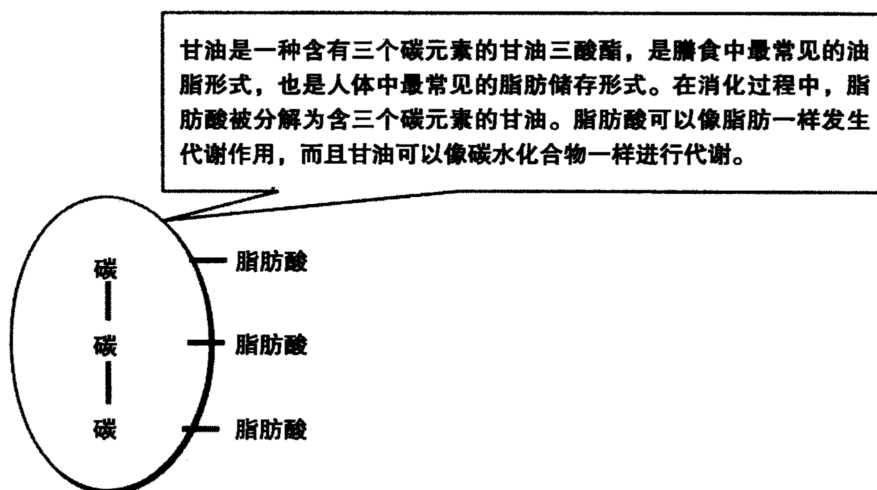


图3.4 甘油（亦称“丙三醇”）

有限的证据表明，在训练前所补充液体中，以每公斤体重补充 1 克甘油的比例添加甘油，可提高极度湿热的环境中运动员的耐力表现。能力提高的原因在于甘油可储存更多摄入的液体[53, 54]。但存在个体差异性，不一定都能接受此方法。一些运动员发现使用甘油时补充过多的水分，会让他们感觉僵硬和不适，而大部分运动员则感觉很舒适[55]。使用甘油的运动员应尽量保持电解质平衡，以免出现低钠血症[56, 57]。

通常运动员应当在训练前遵循如下饮水指南：

1. 不应以口渴感作为需要液体的指标。口渴应该被认为是一种“紧急”感觉，在身体已经损失 1.5~2.0 升水的时候才发生。由于口渴感在训练中很可能延迟，所有口渴了才喝水的情况，均可导致水分过量流失，身体总含水量下降。

2. 运动员应习惯于不口渴时饮水。实际上如运动员随时携带水瓶，就能轻易做到这一点。如果液体无需寻找即可随时获得，更应经常喝水，尤其是还没有感到口渴的时候。

3. 运动员应在训练前饮用足量液体，保持尿液清澈（运动员水合状态良好的迹象）。深色尿液是运动员产生低量浓尿的征兆，是身体需要尽可能保留液体造成的，是水合状态不良的前兆。

4. 训练前 1~1.5 小时，运动员应在相对较短的时间内摄入大量液体（超过 0.5 升），以确保充足的身体水含量，并促使胃排空。此后，运动员应在训练或比赛开始之前持续补水（大约每 10 分钟喝 0.5 杯水）以维持水合状态。运动员应该尽可能频繁且大量地摄入液体以补充流失的水分。

5. 在缺乏监测的情况下（尤其是使用甘油时），水分补充过多的运动员不应采用该方法。心血管系统功能较差的运动员个体绝不适宜补充过多水分。同样，比赛前也不宜尝试此做法。事实上补充大量水分最安全的方法就是频繁地饮水。

6. 运动员应避免进食具有利尿（水分流失）作用的食品和饮料。例如，咖啡、茶、巧克力、苏打以及与咖啡因相关的物质，如大量进食，可加快尿液的排泄速度，这些物质可能会对训练前水合状态的优化造成负面效果。

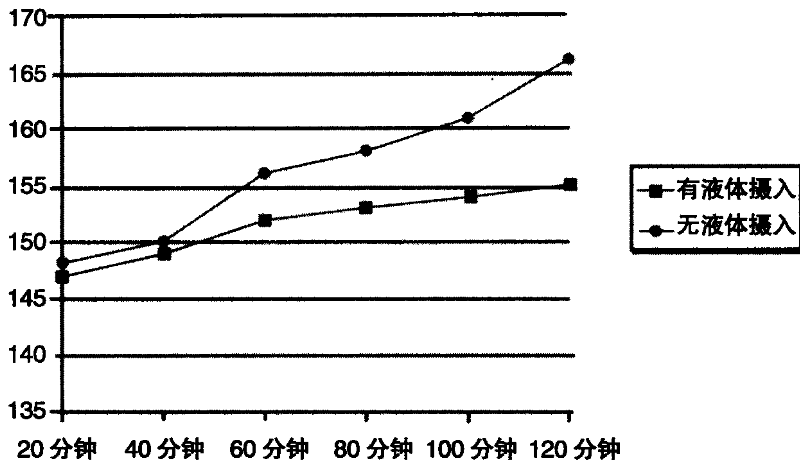
运动中的水分补充

运动员在运动中补充水分益处明显，包括保持良好的运动状态、降低运动引起的心率和体温上升。此外，还能改善和保持流向皮肤的血流量，防止发生脱水。脱水将直接影响到抵抗心血管疾病和维持热量的能力。在运动中不能补充足量的水分，是导致中暑发生的重要因素之一[58]。对于运动员而言，在运动中补充水分是避免中暑和保持运动状态的最佳方法（图 3.5、图 3.6）[59-61]。

大部分关于保持充足水分和运动成绩间相互作用的研究，所研究的不是淡水就是含量不等的碳水化合物和电解质运动饮料（表 3.10）。这些研究均认为，在运动中补充水分十分重要（表 3.11）。在水中加入的碳水化合物及电解质可以为运动员提供某些能量

物质，而淡水则不能提供。近期的研究表明，在补充的饮料中加入碳水化合物，可提高运动员在运动中保持或提高输出功的能力，并能延缓力竭的出现 [62-65]。

以 70%最大摄氧量强度持续运动 2 小时，补充液体 * 和不补充液体的运动员心率（次 / 分钟）

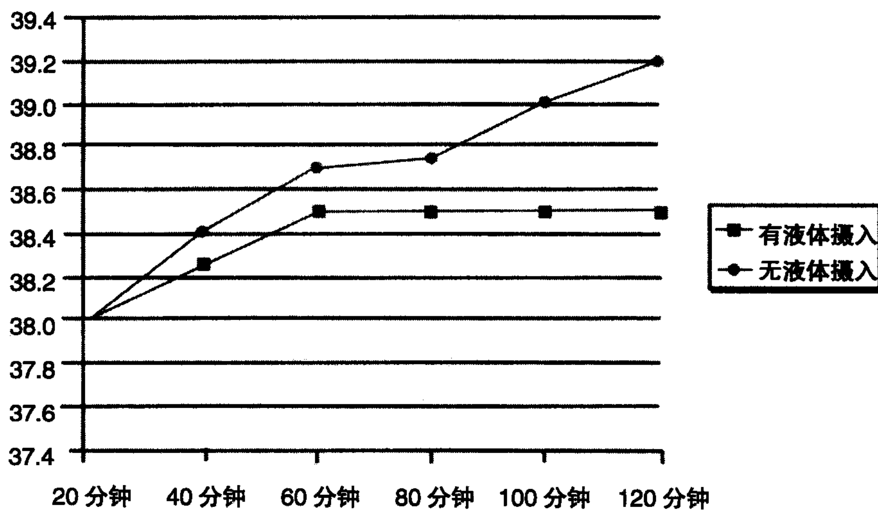


* 以体重不下降的速度补充液体

图 3.5 在运动过程中补充液体和不补充液体的运动员的心率比较

Reprinted, by permission, from M. Hargreaves. 1996. "Physiological benefits of fluid and energy replacement during exercise," *Aust J Nutr Diet* 53(4 Suppl): S3-S7.

以 70%最大摄氧量强度持续运动 2 小时，补充液体 * 和不补充液体运动员的直肠温度（摄氏度）



* 以体重不下降的速度补充液体

图 3.6 在运动中补充液体和不补充液体的运动员核心温度对比

Reprinted, by permission, from M. Hargreaves. 1996. "Physiological benefits of fluid and energy replacement during exercise," *Aust J Nutr Diet* 53(4 Suppl): S3-S7.

表 3.10 普通饮料中碳水化合物与电解质含量

饮料种类	碳水化合物成分	碳水化合物浓度		钠（毫克）	钾（毫克）
		%	克		
Accelerade Pacific Health Labs	蔗糖、葡萄糖 麦芽糖糊精	7	17	127	40
All sport (Monarch Bev. Co.)	果葡萄糖浆	9	21	55	55
Carboflex (Unipro. Co.)	麦芽糖糊精	24	55	–	–
可口可乐 (可口可乐公司)	果葡萄糖浆 蔗糖	11	26	9.2	tr
Cytomax (Cytosport)	果葡萄糖浆 蔗糖	8	19	10	150
食用苏打	无	–	–	微量	微量
佳得乐能量饮料 (佳得乐公司)	麦芽糖糊精、葡萄糖、果糖	23	53	133	70
佳得乐解渴冲剂 (thirst quencher) (佳得乐公司)	蔗糖、葡萄糖、果糖	6	14	110	25
美瑞克斯 (Met-Rx) (美瑞克斯有限公司)	果糖、葡萄糖	8	19	10	150
橘子汁	果糖，蔗糖	11	26	2.7	510
PowerAde (可口可乐公司)	果葡萄糖浆 麦芽糖糊精	8	19	55	30
PowerBar Endurance (powerBar)	麦芽糖糊精，右旋糖	7	17	160	10
PowerBar Performance (PowerBar)	麦芽糖糊精、右旋糖、果糖	8.5	20	250	10
Ultima (Ultima Replenisher)	麦芽糖糊精	1.7	4	8	16
Ultra Fuel (Twin Labs)	麦芽糖糊精、葡萄糖、果糖	21	50	–	–
水	无	–	–	微量	微量

表 3.11 水和碳水化合物对成绩的影响（80%最大摄氧量持续 50 分钟的运动）

- 与摄入少量水相比，摄入充足水分时成绩提高 6.7%
- 与未摄入碳水化合物相比，摄入碳水化合物成绩提高 6.3%
- 与只摄入少量淡水相比，同时摄入充足水分和碳水化合物时成绩提高 12.4%

Reprinted, by permission, from P.R. Below, R. Mora-Rodriguez, J. Alonso-Gonzalez and E.F. Coyle, 1995, "Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 hr of intense exercise," *Med Sci Sports Exerc.* 27: 200-210.

摄入的碳水化合物可避免运动员肌糖原耗竭，并在肌糖原水平下降时为肌肉提供能量。同时，碳水化合物具有保持心智的功能，这对耐力项目极其重要。即便是在肌糖原和液体充足的情况下，心理疲劳也会引起肌肉疲劳。

不同的运动项目对碳水化合物的利用率不同，但无论何种运动，经常饮用碳水化合物饮料均能帮助运动员保持运动能力。例如，在艰苦的骑车运动中，摄入碳水化合物饮料可降低肌糖原的消耗比率[66]；在长跑中，补充含碳水化合物的饮料会降低肌糖原的消耗[67]。在间歇性运动中，摄入含碳水化合物的饮料能降低肌糖原的消耗[68, 69]。在以上任何情况下，碳水化合物的消耗往往被认为是成绩下降的原因。有充分的证据表明，饮用含有碳水化合物的饮料对于改善运动员在高强度运动中（此类运动持续时间相对较短，碳水化合物不会被耗竭）的运动表现至关重要[70-72]。

数据表明，运动员在运动中应摄入含碳水化合物的饮料，但需要重点考虑碳水化合物的浓度和类型。尽管在运动中葡萄糖、蔗糖、麦芽糖糊精与淀粉[73-75]的作用区别不大，但含果糖的饮料易引起肠道不适[76、77]。由于麦芽糖糊精不如蔗糖和果糖口感甜，将其加入到饮料中可能不至于让饮料的甜度令人难以接受[78]。抛开这些不利因素，碳水化合物（无论是以固体或液态形式存在，也不论碳水化合物的种类如何）都有助于提高运动成绩[79]。不过液态的碳水化合物可以帮助运动员同时解决两个问题（能量和水），所以应优先选择液体碳水化合物。

在训练中，碳水化合物的摄入量有必要重点考虑；如果摄入过多过快，会引起胃肠不适，短时间内会将肌肉和皮肤中所必需的液体汲走，以稀释肠道中过浓的溶液。相反，如果摄入的液体中仅含有少量的碳水化合物，对于提高运动成绩无显著影响。运动员应尝试在训练中保持每分钟摄入约 1 克碳水化合物的补充速度。这可以通过饮用浓度为 6%~8%的碳水化合物溶液来实现[80]；每小时补充此种溶液 0.6~1.2 升即可[81, 82]。有些运动饮料的碳水化合物浓度正好在此范围内，而一些运动饮料的碳水化合物浓度则不在此范围内（参见表 3.10）。在训练中，饮用碳水化合物浓度超过 8%的饮料可能会引起胃排空延迟，不一定能实现更快、更好地代谢碳水化合物的目的[83]。摄入浓度在 6%~8%的碳水化合物饮料的另一个切实优点在于，肠道对该饮料的吸收率大于单纯对水的吸收率。这意味着能更有效地保持身体水分含量，并提高将碳水化合物传送到血液和肌肉的效率。医生一般会为腹泻的婴儿输入葡萄糖水（糖水），是因为人体对糖水的吸收较单纯水的吸收更快，能更快地为脱水的婴儿补水。

训练中推荐的液体补充方案，见表 3.12。

训练过后的水分摄入

经过一小时或一小时以上强化训练的运动员，可能会出现一定程度的体内水分不足。对于那些经常进行训练的运动员（如大多数优秀运动员）而言，训练后补充水分可以让运动员在训练后的一天都保持良好的水合状态，是其强化训练中非常重要的环节之一，需要重点考虑的是，脱水后水分的补充需要时间。脱水的时间越长，在开始新一轮训练之前，运动员恢复到良好水合状态的可能性就越小。

运动员在运动中很少能补充超过其损失汗液 70%以上的水；大多数运动员补充的水分远远低于损失的汗液量[84, 85]。因此大部分运动员需采取一些方法，以便在下一次运

表 3.12 竞赛中不同运动项目补液的时机

运动项目与持续时间	补充液体的时机	对液体和碳水化合物的需求
持续时间小于 30 分钟的项目 • 短跑 • 跳高 • 投掷运动 • 体操	在项目间歇摄入液体，但不要在项目结束 15 分钟后再补充液体	在进行比赛时不需要补充，但是在比赛前及比赛间歇时可补充
持续时间小于 60 分钟的中级项目 • 10 公里跑 • 赛艇比赛 • 有氧运动课 • 网球课 • 场地自行车赛	在比赛间歇补充液体 赛跑运动员应该不超过 5 公里（3.1 英里）就摄入一些液体（在湿热天气中摄入频率更高） 进行此类项目的运动员应随身携带一个饮料瓶	在比赛开始之前、比赛中以及比赛后都需要补充液体；但只需要在比赛之前和之后补充碳水化合物。运动中碳水化合物可以帮助液体的吸收，因此饮料中应含有碳水化合物
耐力项目 • 马拉松 • 80 公里自行车比赛 • 奥运会铁人三项标准赛 • 网球（5 局）	马拉松长跑运动员应该不超过 5 公里（3.1 英里）就摄入一些液体（在湿热天气中摄入的频率更高）。三项全能选手自行车比赛时，应该不超过 10 公里（6.2 英里）就补充液体。而在长跑时，每 2~4 公里（1.2~2.5 英里）就应补充一些液体。网球运动员在换场地时以及第三局之后可以饮用一些液体	在这些项目中建议补充水、电解质（钠）以及碳水化合物。补充的量根据环境条件、糖原储备以及运动强度（例如比赛的难度）而定
超耐力项目 • 铁人三项运动 • 横渡英吉利海峡 • 公路自行车赛 • 自行车赛，如环法自行车赛	一有机会就应该补充液体，并且每 10 分钟就应摄入一些液体。如果比赛组织方未提供液体（如自行车赛），则应该制定液体补充计划，并自行携带液体	建议在此类比赛中补充水、电解质（钠）以及碳水化合物。补充的量根据环境条件、糖原储备以及运动强度而定
持续时间约 90 分钟的团体项目 • 曲棍球 • 篮球 • 足球 • 排球 • 棒球	在比赛休息时补充液体，但摄入频率不应低于 15 分钟/次。最理想的摄入频率是 10 分钟/次。休息时间较长时（中场休息、两局之间以及两节之间休息），可借机补充液体	建议在此类比赛中补充水、电解质（钠）以及碳水化合物。补充的量根据环境条件、糖原储备以及运动强度而定

Adapted, by permission, from H. O'Connor, 1996. "Practical aspects of fluid replacement." *Aust J Nutr Diet* 53 (4 Suppl): S27-S34.

动开始前能达到较好的水合状态。运动员往往容易忽视明显的身体对水分补充的需求，即便能轻易获得补液，他们也仍处于缺水状态中[86]。出现此类脱水情况说明运动员有必要制订补水计划，方可提高保持良好水合状态的可能性。保证运动员在训练课结束即刻能轻易获得清凉、好喝的饮料，是达成此目的的有效方法之一[87]。

商业运动饮料中含碳水化合物和钠，比普通的水更有利于恢复水平衡[88]。为了最大限度缓解脱水（dehydration）状态，钠的补充量要高于大多数运动饮料中钠的含

量[89]。很多食物中都添加了盐（钠），对钠的额外需求可通过正常的膳食摄入得到补充[90]。

通常，运动员在运动后补充液体应遵循如下规则：

1. 在训练刚刚结束后，运动员应摄入大量水分（在身体可以承受的范围内尽量摄入，大约为 5 升）。大量的水分摄入可使胃胀大，提高水离开胃进入小肠后的吸收效率。

2. 在摄入大量液体后，运动员应每隔 15 分钟摄入约 1 / 4 升的液体，方可在 3 小时内达到约 3 升的液体摄入量。运动员体型越大，在运动中出汗越多，需要摄入的液体量也越多。

3. 碳水化合物和钠均有助于运动员恢复到良好的水合状态，运动员所摄入的液体中应同时含有碳水化合物和钠。此外，饮料中所含的碳水化合物有助于肌肉中糖原（能量）的再储备，为下一次比赛做好准备。

4. 每升运动饮料中约含有 10~25 毫摩尔电解质（主要是钠）。但是，恢复身体水平衡的饮料中最佳钠浓度约为 50 毫摩尔 / 升[91]。然而在液体中加入更多的钠可能使液体口味不佳，降低运动员所摄入的液体量；应鼓励运动员在训练结束即刻补充一些咸味小吃（如椒盐饼干或者咸味饼干）。

5. 运动引起的体重下降是确定在下一次训练之前应补充液体总量的关键。作为一般性的指导原则，摄入 1 品脱（470 毫升）的液体对应体重下降 0.5 公斤。所摄入的水并不都能保留在体内，若补充与体重减少等量的水分，应摄入 2 倍于体重丢失量的液体。

6. 含有咖啡因以及相关物质的饮料（咖啡、茶、可乐、巧克力等）会增加尿液中的水分流失，应避免饮用上述饮料。

4 机能强化剂

机能强化剂是指一种能够增强体力或精神（尤其能消除疲劳症状）的物质。营养性机能强化剂是指能提高成绩的物质，既可以是营养物质，也可以是营养物质的代谢产物、食物（植物）提取物或食物中普遍存在的物质（如咖啡因或肌酸）。这些物质在机能强化剂中的含量比自然食物中更高。非营养性机能强化剂包括一直为运动员所用的合成类固醇及其同类物。但几乎所有的运动组织（NACC、IOC、USOC 等）都禁用此类机能强化剂，因此，此类补充剂不是本章讨论的重点。本章将重点讨论合法的营养机能强化剂，目前关于它们的科学研究也越来越多。

各公司出售的机能强化剂通常针对不同的运动人群，其中一部分用于强度和力量型项目上，而另一部分则关注如何提高有氧耐力运动。本章讨论关于各种机能强化剂的作用机理、功效和安全性（对长期安全性的研究即使有过也极少）。此外，服用机能强化剂可增强一些潜在能力，本章还包括了机能强化剂的最佳使用策略。在阅读本章之前，考虑到下述现实情

况十分重要：大多数宣传具有机能增补特性的物质根本无此功效，若运动员摄入满足需求的适当能量和营养，则那些有效物质也将失去它们的机能增补特性。最重要的是，与从药瓶和药丸中获取的机能强化剂相比，从适当平衡膳食中获取的机能强化剂不仅合法，而且花费更少也更安全。

简言之，机能强化剂宣称可提高成绩。而营养性机能强化剂之所以如此定义，在于它包含一种或更多的已知营养素，通过进入行之有效的营养代谢途径发挥作用。例如，补充额外的碳水化合物能提高运动能力，就将碳水化合物定义为营养机能强化剂。同样，摄入一水肌酸可以提高神经兴奋性，将肌酸定义为营养机能强化剂，而肌酸是食物的常规成分，所服用的肌酸进入已知的代谢途径[1-4]。非营养机能强化剂，指既非营养素也非其他具有营养特性物质的产品（由于生产商未明确指明其成分，其来源通常不得而知）。最常见的非营养机能强化剂是促蛋白合成的类固醇。

在多数情况下，机能强化剂所宣称能力增强的效果都超过实际效果。鉴于许多产品都被视为是食物、营养素或基于营养素的产品，政府机构较少控制管理此类宣传。已发行的科技著作以及美国国家卫生研究院膳食补充署（Office of Dietary Supplements of the National Institutes of Health）是唯一真实可信的信息来源。如发现有增强机能的作用，通常也是安慰剂效应：人们相信机能强化剂会起作用，所以机能强化剂有所作用，尽管这种提高缺少任何根本的生物学基础。在某些情况下，运动能力之所以有所改进，是源于这些产品消减了运动员经常食用的食物中所含的化学成分。例如，健身者常常摄入蛋白粉或氨基酸以帮助增加肌肉重量。然而，研究证实身体对蛋白质的利用率远远低于蛋白粉的摄入水平。身体利用蛋白质满足肌肉生长与维护组织所需的量，远远低于日常通过食物和蛋白质补充剂中摄入的蛋白质含量。蛋白质的使用量不应高于 2 克 / 公斤体重，然而服用蛋白质补充剂的人往往摄入量超过 3 克 / 公斤体重。过量摄入的蛋白质将作为能量进行燃烧或以脂肪形式储存起来，并非用于构建更多的肌肉。同时健美运动员经常摄入的能量不足，能量不足让他们难于维持更大的肌肉重量[5]。摄入的多余蛋白质看似能够增进机能，很可能是因为蛋白质能提供能量，而非构建组织。

许多机能强化剂都可轻易获得，从已知的营养素到假定的营养素（如：维生素 B_{15} 无官方定义，缺少活性成分的标准，不同制造商的产品含量有所不同，也非公认的维生素），到具有未知化学成分或已知活性成分的草药。在商场与更衣室里与之相关的产品信息存在着太多的虚假宣传，购买者应十分小心。通常，如果运动员不过分关注灵丹妙药对成绩提高的作用，而采取更实际的方法，通过平衡膳食即可从食物中摄入充足的能量和营养物质，为生长、活动和组织维持提供支持，获得更好的效果。

机能强化剂简史

“公元前776年，第1届奥运会在希腊举办。从记录古代运动员的特定训练和饮食养生法的文献中我们了解到，他们中的一些人通过食用致幻蘑菇和芝麻种子提高成绩。尽管现代奥运会始于1896年，但是直到1922年，才开始对奥运会运动员的饮食和训练进行科学及医学研究……1889年，法国生理学家Charles Edward Brown-Séquard宣称通过自我注射睾丸提取物逆转了他自身的衰老过程。1935年，首次合成睾丸酮（一种主要的男性激素）；20世纪40年代，运动员开始服用促蛋白合成类固醇，以增加他们的肌肉重量。整个20世纪50年代和60年代，都在广泛使用安非他命和促蛋白合成类固醇。考虑到这一趋势，国际奥林匹克委员会（IOC）于20世纪60年代早期下令禁止奥运会运动员使用安非他命和促蛋白合成类固醇。正式药物测试始于1968年的奥运会。1988年，由于测试结果显示口服了促蛋白合成类固醇，所以加拿大奥运会短跑运动员本·约翰逊的金牌被取消；这是首次由于违禁药物，而取消奥运会田径运动金牌获得者的资格……”［经许可翻印自：骨科整形医生美国协会期刊2001年；第9（1）期：61-63页中的Silver，Marc D，《运动员对机能强化剂的使用》］。

机能强化剂的分类

机能强化剂可分为若干类别，包括物理机能强化剂、药理机能强化剂、生理机能强化剂、营养机能强化剂和心理机能强化剂（表4.1）。运动协会和国际奥委会（IOC）广泛禁止一些机能强化剂，如血液兴奋剂、促红细胞生成素（EPO）、促蛋白合成类固醇以及人类生长激素。若要查询限制与禁止的机能强化剂以及关于提高成绩的禁用方法之最新的综合列表，请访问网址：www.wada-ama.org/en/。

表4.1 机能强化剂的类别和示例（包含允许的和禁止的）

类别	示例
物理机能强化剂	提高力量的自由力量训练器材；轻量型跑鞋；提高肺部气流的鼻贴；抗力减速伞
药理机能强化剂	类固醇雄性激素（及其前体）；高剂量营养补品（微生物和矿物质）；具有药理效应的准营养物质（如除营养效能外，正常摄入量还会引起的其他效能）
生理机能强化剂	血液兴奋剂；桑拿浴；按摩和其他形式的物理疗法
营养机能强化剂	碳水化合物负荷；运动饮料；咖啡因摄入和所摄入食品中普遍存在的其他物质
心理机能强化剂	催眠；放松技巧；想象技巧；激励技巧

尽管广泛发布了许多与具有机能增补特性之物质摄入相关的问题，运动员仍在继续与他们的身体玩俄式轮盘游戏。服用促蛋白合成类固醇的副作用较多，有些可能不可逆

转，如高血压，导致跟腱断裂的发育异常，肝脏肿瘤，精神病（类固醇性愤怒），多毛症，女性阴蒂肥大和声音低沉，男性胸部发育、睾丸萎缩与性无能，以及导致青少年身材更矮小的骨骺闭合过早[6]。此外，服用大多数的机能强化剂可补充膳食摄入的不足；而这些饮食缺陷均可通过简单地改变饮食和水分摄入得以矫正，且成本更低、更安全、更有效。比如，源自蛋白质和氨基酸补剂的氨基酸价格比摄入一小片鸡肉或猪肉贵 10 倍，而后者十分安全的。当然，还应考虑获取并服用特定物质的合法性。尽管促蛋白合成类固醇到处都可以买到，但却是法律规定的处方治疗药物，只能由医生为有临床症状的病人开出。安全问题也不容忽视，含有咖啡因和麻黄碱的产品引发众多死亡病例，在美国及其他市场均禁止销售麻黄及其相关物质[7]。机能强化剂列表、潜在优点、副作用及其合法性概要，见本章末尾的表 4.3。

关于各种营养物质优点的广告非常多，教练员和运动员很难分清哪些有效，哪些无效，哪些安全，哪些不安全。在佳得乐运动科学研究院期刊某一期刊物的剪贴板中，体育营养学家埃伦·科尔曼（Ellen Coleman）对评估这些产品时要注意的重要事项进行了总结（改编自：剪贴板。www.gssiweb.com. 12-2-2004 埃伦·科尔曼，《如何辨别补剂》）：

- 补剂标签上应冠以 USP（美国药典）标志。USP 标志表明该补剂通过了可溶性、分解性、功效和纯度方面的标准测试。
- 确保产品为全国知名食品及药物制造商加工制造。相对而言，声誉良好的制造商能更好地遵循严格的质量控制程序。未能解答问题或处理投诉的公司不应成为药剂供应商。
- 补剂应以研究为后盾。声誉良好的公司会提供来自同行评审期刊的研究论证以支持其宣称的功效。
- 寻求精确恰当的功效声明。如果关于补剂的功效说明含糊不清或标注的功效荒谬可笑，那么该公司不可能遵循良好的质量控制程序。听起来太好而不真实的功效说明亦是如此。

膳食补充剂的主要问题在于其成分难以确定。根据莫恩（Maughan，2001 年）所述，由于一些膳食补充剂可能含有曼陀林（一种促蛋白合成类固醇）或其他违禁药物，运动员服用后可能导致其无法通过药检[8]。莫恩指出，在众多未能通过兴奋剂检测的报告中，运动员认为所服用的草药补剂安全合法，孰不知其中含有违禁成分。显然，运动员应扪心自问，服用补剂的风险是否胜过其潜在利益。或许他们自认为并未违反运动或组织委员会（如 ICO 或 USOC）规则，对违禁成分毫无警惕性。一旦在运动员体内检测出违禁物质，即使该运动员并不知情或未经运动员同意，也将被定为“有罪”。

碳水化合物作为机能强化剂

碳水化合物是运动中典型的有限能量基质（即碳水化合物先于脂肪和蛋白质消耗殆尽），因此在体育运动开始前应储备充足的碳水化合物，这对运动员在整个赛季中的表

现都十分重要；保证充足的碳水化合物储备在任何运动项目中都能起到提高耐力的作用。在高强度运动中，碳水化合物是肌肉工作的主要供能物质。而在低强度长时间运动中，脂肪则是主要燃料，然而脂肪的完全氧化必须有碳水化合物的参与 [9]。此外，储存脂肪的能力远远高于碳水化合物，即便是最瘦的运动员也如此。在任何一项运动中，碳水化合物摄入不足都将导致运动员的体能急剧下降 [10, 11]。因此，碳水化合物超量补充法的目标就是让机体达到最高的碳水化合物储备（碳水化合物超量补充法的更多信息见第 6 章）。

碳水化合物超量补充法并非适用于所有的体育运动和活动。必须了解机体每储存 1 克糖原，就必须同时储存约 3 克水。糖原和水摄入较多有可能导致一定程度的肌肉僵硬。在诸如体操和赛车等体育项目中，灵活性十分重要，因此碳水化合物超量补充法可能会给运动员带来一些麻烦。也有人认为碳水化合物超量补充法对男性的益处高于女性。在一项针对男性和女性摄取较高的碳水化合物后的对比研究结果显示，男性的糖原储备和体能均有所提高，然而女性却因体脂率高于男性，蛋白质和碳水化合物氧化率低于男性，无法达到与男性同等的提高水平 [12]。

碳水化合物类型有所不同。葡萄糖聚合物产品（包括市场上出售的体育专用葡萄糖胶丸和凝剂）以及麦芽糊精（存在于大量运动型饮料中）易分解成葡萄糖，葡萄糖似乎比其他碳水化合物更易吸收转化为糖原。不过像面条、面包、大米和其他谷类中所含的淀粉亦能有效增加糖原储备 [13, 14]。



在以跳跃高度作为要素的运动项目或赛事中，如跳高，运动员补充 250 千卡碳水化合物所获得的益处高于补充等量的肌酸。

不同形式的碳水化合物消化速率不同，转换成葡萄糖进入血液的速率也不同。一项血糖上升速度的评估研究报告中，将研究对象分为三组，同时进食一餐高碳水化合物食物 2.5 小时后，第一组补充一支高血糖指数（HG）的棒棒糖，第二组补充一支低血糖指数（LG）的棒棒糖，第三组不补充任何食物，然后三组同时完成 90 分钟的自行车骑行。研究结果显示，第二组研究对象的血糖和胰岛素水平均高于其他两组。第三组的游离脂肪酸（FFAs）水平最高，而在骑行期间，第二组的游离脂肪酸水平高于第一组。根据该研究结果，建议运动员采用低血糖指数食物，在运动中延长能量作用时间（并因此提高耐力）[15]。

在运动前摄取葡萄糖聚合物溶液的运动员比在 1 小时最大运动量期间摄取无热量安慰剂的运动员能量下降幅度小。而运动员如果在运动期间每隔 15 分钟摄入一次等量的葡萄糖聚合物则没有明显效果。这表明在运动前摄入葡萄糖聚合物可提高体能，而在运动期间摄取则没有任何机能增强效果[16]。

运动员加快运动后肌糖原恢复，对体力恢复及运动能力提高十分重要，尤其是当运动员必须连续数天进行比赛时。在 2~3 小时的高强度（60%~80%$\dot{V}O_2max$ 强度）运动中可能发生糖原耗竭，在极限强度运动中也会出现。除体能降低外，肌肉内糖原水平过低还可能增加运动员受伤风险。在英式足球和曲棍球等项目中，大强度训练和比赛可能消耗糖原，比赛或训练期间补充碳水化合物是避免糖原消耗的合理策略。在此类运动项目及其他类似项目中，许多运动员在比赛期间只摄入水，从而失去了一个重要的提高机能的机会[17]。

训练结束后，应摄取适量碳水化合物食物（建议 1 克 / 公斤体重）以减少蛋白质分解，帮助合成蛋白质。训练后未及时补充碳水化合物，会导致不必要的肌肉分解，降低抗阻训练的效果[18]。

一水肌酸

肌酸（一种由精氨酸、甘氨酸和蛋氨酸组成的化合物）和磷共同生成磷酸肌酸。磷酸肌酸作为能量存储的场所，用于维持高强度运动期间的三磷酸腺苷（ATP）水平，例如 ATP 消耗迅速的短跑项目（图 4.1）。ATP 是细胞的高能量燃料。人们普遍认为，运动员肌肉中肌酸水平较高者合成的高能量化合物 ATP 较多，他们在高强度运动中耐疲劳能力亦较高[19]。

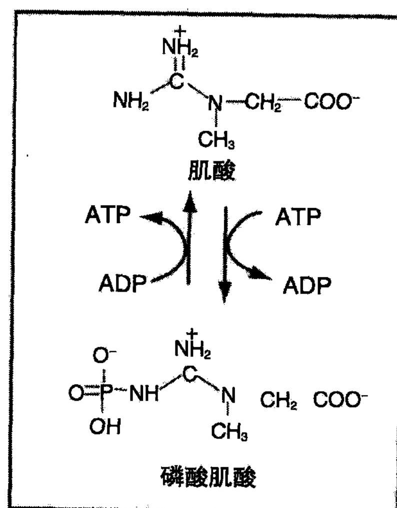


图 4.1 磷酸肌酸中 ATP 的形成

除通过细胞利用三种氨基酸合成肌酸外，我们还可以从肉类中获得肌酸［注：词语 creatine（肌酸）的希腊词根为 creas，即肉

类]。然而，正常的烹饪方法很容易降低食物中的肌酸水平，或改变多肽的性质。因此，熟肉中肌酸含量相对较低。

许多运动员定期服用一水肌酸补剂来补充肌酸，资料表明，补充肌酸可增强爆发力和无氧耐力[20, 22]。部分证据表明一水肌酸补剂可增进体能[23]。然而，一水肌酸补剂发挥效用的前提是总能量（热量）摄入不足[24]。近期的一项有关重复跳高的研究认为，在持续进行最大高度跳跃时，补充250千卡碳水化合物比补充一水肌酸更有效。此外，使用碳水化合物维持体能，不会造成体重增加，然而，补充一水肌酸却会明显增加体重[25]。能量摄入充足的运动员可能无法从这些补充剂中获益，但是这一推论尚未有明确的证据证明。

通常一水肌酸的摄入量为10~28克，每日分4次服用。如每日摄入量10克，则应每日4次，每次2.5克。运动员体重越小，每日补充剂量也越小。

有证据表明，连续补充肌酸5天后肌肉组织中的肌酸饱和[26]。因此，连续补充肌酸不应超过5天，并且，在连续补充之后应停用5天。每月中只要有5天补充肌酸可能就足以让肌肉组织中的肌酸达到饱和状态[27, 28]。肌肉中的肌酸储备可引起水滞留，从而增加体重[29]。

目前，尚未有研究对儿童、青少年或成人长期补充一水肌酸的安全性进行检测，也无可靠的证据表明会对健康成人造成危害，也无关于儿童短期补充或长时间补充一水肌酸是否安全的研究结果。运动员必须确认补充肌酸是否适合自身情况。在运动员补充肌酸前应先确定自身的能量（热量）摄入水平是否充足。

甘油

甘油（也称为丙三醇）是一种三碳简单脂质，其代谢与碳水化合物相同。甘油的三碳结构与游离脂肪酸结合形成甘油三酯。甘油是一种有效的湿润剂，具有大量吸水的能力。很多耐力运动员将甘油用于超水合作用以维持水分，同时甘油还可将能量轻松地完全代谢。在水中加入少量甘油可帮助运动员储存更多的水，对在湿热环境下进行耐力比赛的运动员很有帮助（超水合作用的更多信息，请参见第3章）。

体内水分的增加可导致一定程度的肌肉僵硬，令一些运动员感觉不适。的确，在赛前补充甘油液体的运动员经常抱怨感觉僵硬无力，至少在比赛一开始时。但是，这些运动员中许多人声称，比赛结束后身体脱水较少所带来的好处远远超过比赛开始时灵活性降低所带来的不利。当其他运动员出现脱水和过热时，这些运动员声称在比赛关键时期感觉更为清醒。

警告：尽管许多耐力运动员采用甘油盐水来增强其水合状态，但是该补液的安全性尚未得到充分验证。甘油是正常的饮食成分，且易于代谢，所以少量甘油不会造成任何不适。如服用剂量过高则可能引发头疼、视线模糊等症状[30]。而且，当水分储存在心血管系统内会产生何种后果尚不得而知。

鉴于脱水的负面影响以及利尿剂能降低尿液中类固醇和其他违禁物质的生物标记浓度，国际奥委会已禁止运动员服用利尿剂。甘油曾被归类为利尿剂，由于人们普遍认为

1.0~.5 克 / 公斤体重的甘油剂量不可能有利尿效果，美国奥组委（USOC）于 1997 年将甘油从禁令中取消。

人们并未就甘油盐水的最佳摄入方式达成共识。体重为 155 磅（70 公斤）的运动员在运动前 2.5 小时摄入约 2 升液体时，甘油的建议摄入量如下[31]：

- 饮用摄入每公斤体重 5 毫升 20%的甘油溶液。
- 30 分钟后：每公斤体重摄入含有 5 毫升甘油的水。
- 15 分钟后：每公斤体重摄入含有 5 毫升甘油的水。
- 15 分钟后：每公斤体重摄入含有 20%的 1 毫升甘油溶液以及 5 毫升水。
- 30 分钟后：每公斤体重摄入含有 5 毫升甘油的水。
- 1 小时后开始练习。

尽管有确凿证据表明，比赛期间摄入 6%~8%的碳水化合物溶液对于提高机能状态效果更好，但对于持续时间超过 2 小时的赛事而言，比赛前和比赛期间每小时摄入 400~800 毫升 5%的甘油溶液较好。

碳酸氢盐（苏打中的碳酸氢钠或重碳酸盐）

理论上碳酸氢钠可以中和无氧代谢所产生乳酸的酸性。假设事实确实如此，那么这将长时间的保持力量或体能[32]。不少运动以无氧代谢为主，表面上部分运动员似乎可从食用碳酸盐受益。然而，研究结果十分复杂，体内水分充足的运动员似乎无法从补充碳酸盐获得应有的益处。

实际上，碳酸氢钠中的钠可能比重碳酸盐（酸缓冲物）更有效。钠是一种能够帮助增加或保持血容量的电解质，它可创造一个更大的缓冲空间（即更多的液体），使肌肉能够排出高强度运动所产生的多余酸性物质。如果把糖看做代谢活动产生的酸，把血量看做一杯水，那么您就可以清楚看到它的结果。就像往半杯水里放入一块糖，糖的浓度肯定会高于往一整杯水里溶解一块糖的浓度。服用小苏打会产生潜在的副作用（包括剧烈肠胃疼痛和恶心），因此，运动员在使用前必须慎重考虑。

1993 年的一项研究中，10 名大学生校队划船手在 2000 米计时赛开始前一小时以每公斤去脂体重 300 毫升的比例摄入碳酸氢钠（$NaHCO_3$）溶液。与服用安慰剂的人相比，他们在比赛中力量、总运动量和速度均有显著提高[33]。在另一项研究中，6 名受过训练的男性以每公斤去脂体重 300 毫升的比例摄入碳酸氢钠（$NaHCO_3$）。在抗疲劳训练前后及训练中进行测试，结果表明，他们的体能并无明显改善[34]。在一项研究中，男性和女性中跑运动员每三天进行 1 次 1600 米跑，共 4 次，其中三次 1600 米跑前 2 个小时分别补充不同的补剂：以每公斤体重 300 毫升的比例补充碳酸氢钠（$NaHCO_3$），以每公斤体重 500 毫升比例补充柠檬酸钠，或一片安慰剂（碳酸钙），此外有 1 次 1600 米跑作为对照组。结果显示，碳酸氢钠和碳酸钙对于比赛时间无影响，相反大多数运动员抱怨感到不适。由此可见，让大多数运动员产生不适感的物质是重碳酸盐[35]。

蛋白质和氨基酸

氨基酸是构成蛋白质的单位。不同数量的氨基酸以不同的排列组合在一起，产生不同性质的蛋白质。例如头发的蛋白质是一种特殊的氨基酸排列，肌肉中的蛋白质又是另一种排列。当蛋白质分裂时，就会释放一群从蛋白质氨基酸结构单元中获得的氨基酸。

很多运动员服用蛋白质或氨基酸补剂，他们认为这样可促进肌肉强化。然而，运动员的饮食测试证实，这些补剂之所以有效是因为运动员的热量需求得到满足，而不仅仅是肌肉量的增加。情况大体相似，因此很多运动员发现与服用蛋白质或氨基酸补剂相比，进食更多的食物来获得所需热量更为简单、便宜和安全。就代谢而言，研究表明人类每公斤体重仅需 1.5 克蛋白质 [36, 37]。蛋白质的需求量与个体的去脂体重直接相关，很小一部分用于能量供应。综合来看，运动员对蛋白质的需求总量约为每公斤体重 1.0~1.5 克。摄入高于此量的蛋白质，多余蛋白质将作为燃料来源被代谢或转化为脂肪被储存。蛋白质不应作为能量的来源，会产生有毒的含氮废物（即氨水、尿素）。这种强制性的尿液排泄会增加水分的流失，增加脱水的发生几率。

咖啡因

咖啡因，一种存在于咖啡、茶、可乐、巧克力及一些其他食物和饮料（表 4.2）中

表 4.2　一般食物、饮料和非处方药物中咖啡因的含量

产品	咖啡因含量
普通低滤咖啡（150 毫升）	106 ~ 164 毫克
普通渗滤咖啡（150 毫升）	93 ~ 134 毫克
普通速溶咖啡（150 毫升）	47 ~ 68 毫克
无咖啡因的咖啡（150 毫升）	2 ~ 5 毫克
星巴克大杯咖啡（480 毫升）	550 毫克
红茶（1 杯，240 毫升）	25 ~ 110 毫克
乌龙茶（1 杯，240 毫升）	12 ~ 55 毫克
绿茶　（1 杯，240 毫升）	8 ~ 36 毫克
冰茶（360 毫升）	67 ~ 76 毫克
威士忌酒（360 毫升）	54 毫克
可口可乐（360 毫升）	46 毫克
Dr. pepper 汽水（360 毫升）	40 毫克
百事可乐（360 毫升）	38 毫克
牛奶巧克力（28 克）	6 毫克
朱古力饮料混合巧克力（168 克）	2 ~ 8 毫克
甜巧克力（28 克）	20 毫克
无药物咖啡因药丸（1 倍剂量）	200 毫克
安诺星（1 倍剂量）	64 毫克
乙肽氨基粉（1 倍剂量）	130 毫克
百服宁（1 倍剂量）	0 毫克

Adapted, by permission, from D.M. Ahrendt, 2001, "Ergogenic aids: Counseling the athlete," *American Family Physician* 63(5): 913-922.

的甲基黄嘌呤，经证实，它能帮助那些不习惯服用咖啡因制品的人改善耐力表现[38]。咖啡因是一种中枢神经系统兴奋剂和肌肉松弛剂。近期国际奥委会将其从违禁物质名单上删除。很多研究表明，咖啡因的摄入能明显增加血浆中游离脂肪酸（FFA）的浓度[39]。在低强度的耐力性运动中，游离脂肪酸的增加可提高细胞利用脂肪提供能量的能力。由于人体对摄入的咖啡因会产生适应性，频繁、定期的服用咖啡因会降低其剂量效能。简言之，服用越多，就需要服用更大的剂量才能达到同等增力效果。过量摄入咖啡因会引起易怒、失眠、腹泻和焦虑。此外，大量摄入咖啡因可能具有利尿作用，加重脱水状况。

摄入咖啡因的剂量达到每公斤体重3~9毫克或总量约250毫克，可提高耐力运动成绩，同时还可能提高短时间高强度的运动能力[39, 40]。尽管我们推测咖啡因可能通过刺激交感神经系统并促进脂肪酸的利用来节约有限的糖原储备，但咖啡因为何会有这种增强机能的效果，原因尚未明确[41, 42]。作为一种中枢神经兴奋剂，咖啡因可刺激大脑，降低疲劳程度，从而使人体能持续保持高水平发挥。国际奥委会不再禁止使用咖啡因，运动员很可能会定期以较高的频率摄入咖啡因。除去定期使用咖啡因所产生的依赖性问题（中断使用会产生烦躁、头痛和情绪不稳定），咖啡因是一种相对安全的食用物质[43]。

肉碱（通常为左旋肉碱）

左旋肉碱是β-羟基丁酸盐的通用名称，早在1900年人们就在肌肉里发现了β-羟基丁酸盐这种季铵类物质。它主要参与将细胞内长链脂肪酸运输至细胞线粒体的过程，长链脂肪酸在线粒体中代谢。肉碱通过改善动脉壁的脂肪酸氧化作用来增加血流量，并可去除氨的毒性，而氨是伴随早期疲劳的蛋白质分解所产生的副产物之一[44]。我们可通过赖氨酸和蛋氨酸合成肉碱，所有的肉类和乳制品中含有大量肉碱，通常不会出现肉碱缺乏的情况。该物质缺乏的高发人群是不吃乳制品的素食者。只要摄入足量肉制品或奶制品，几乎没有必要服用这种较为昂贵的补剂。尽管未有实验证实，但在高强度运动中纯素食者可能会受益于左旋肉碱的补充。

通常认为肉碱可以避免肌糖原分解，减少乳酸分泌[45]。然而一些研究已表明，无论是运动前还是在运动前几天服用肉碱，对剧烈运动均有好处。通用剂量为每日1~2克，但左旋肉碱增补剂的安全性尚未经过充分检验。摄入的肉碱类型也十分重要。有报告称，DL-肉碱增补剂（较便宜的一类肉碱）可能会导致肌肉无力[46]。因此，如果一名运动员坚持要服用此类补剂，那么只能使用左旋肉碱。

Ω-3 脂肪酸

Ω-3脂肪酸通常作为非处方补剂进行使用，但也可通过有规律地食用鲑鱼、鲱鱼和沙丁鱼之类的淡水鱼轻松获得。这些脂肪酸有助于减轻肌肉酸痛，此外还有以下益

处[47]：

• 改善向器官与肌肉输送氧和营养物质的能力。Ω-3 脂肪酸可降低红细胞的“黏性”，从而使红细胞更容易向器官流动（注意：过度使用 Ω-3 脂肪酸会抑制正常凝血机制，如出现伤口，会引起失血过多）。

• 通过提高氧的输送能力改善有氧代谢。

• 因正常刺激（运动、睡眠和饥饿）而释放更多促生长素（生长激素），具有促合成作用，增强肌肉恢复能力。

• 减轻因肌肉疲劳和用力过度引起的组织炎症，促进快速恢复。

尽管有上述潜在好处，但尚未有科学文献证实耐力的增强得益于 Ω-3 脂肪酸补剂[48, 49]。

中链脂肪酸

椰油和棕榈仁油中含有的中链脂肪酸（MCTs），是人体所需营养物质中最常见的饱和脂肪酸。中链脂肪酸的碳链上有 6~12 个碳原子，远远长于所摄入的大多数甘油三酯碳链。这种差异以及它的水溶性促使这些特殊脂肪能以不同方式被吸收和代谢。当被肝脏快速吸收后，它们能快速氧化成细胞能量[50]。此外，中链脂肪酸油脂不需要左旋肉碱即可把能量输送到细胞线粒体进行代谢（其他脂肪需要左旋肉碱）[51]。中链脂肪酸的潜在益处包括[47]：

• 快速储存能量

• 有助于将体内储存的脂肪转化为能量

• 加快代谢速率

• 增加去脂体重（肌肉）

由于中链脂肪酸具有较长的安全用药史，在药店及保健食品店普遍有售。多年以来，它们都被用做肠道（试管）能量来源。尽管摄入中链脂肪酸可增加血浆游离脂肪酸的浓度，但针对中链脂肪酸对运动能力的影响所进行的评估研究中却未发现其对体能有任何益处[52-54]。

人参

几百年来亚洲人都将人参用于减轻疲劳。少数研究表明，人参的成分可以减少糖原消耗，并增加脂肪酸的氧化[47]。给运动后的动物注射人参提取物，证明其可以缓解疲劳[55]。然而，一项历时两个月，观察服用不同剂量人参粉末对人体影响的研究中，并未表现出其明显的强化作用。仅有少量证据显示，服用人参精补剂可通过增加肌肉的氧运输而改善耐力体能。连续 7 天，每天每公斤体重摄入 8 毫克或 16 毫克的人参，也不能提高极限强度和略低于极限强度的自行车运动成绩[56]。

机能强化剂的选择

很多产品都在无休止地宣传其提高体能的特别功效。然而大多数产品都没有证据证明，营养良好的运动员因为服用了这些产品而达到了广告中的效果（相反，往往是产品的生产商和经销商获得了大量收益）。运动员在试用机能强化剂前，应当仔细评估自身饮食的充足性。这些产品较为昂贵，并且只有很少的一部分产品接受过充分的安全检测，其含量往往未知，至于有效成分的准确剂量更不确切。此外，在补剂产品中掺入违禁物质的情况也确有发生。最常用的机能强化剂及其效果见表 4.3。

运动员应当谨慎选择使用机能强化剂。向专业的医疗人员（例如医生、营养学家或药剂师）进行咨询，获得尽可能多的相关产品信息，并确定是否通过简单的饮食安排可以不使用补充剂。首次服用任何补剂，都要仔细观察是否会发生胃肠疾病或恶心症状，并在服用该补剂之后记录身体感觉。大多数机能强化剂都是强有力的化学制品，如果摄入量为我们正常饮食中即可获得的微小剂量，那么这些化学制品很容易被身体接受。如果为了达到增补效果而大剂量地摄入，那么对身体所产生的影响将完全无法预测。

显然，在本章涉及的所有机能强化剂中，碳水化合物是最易于改善耐力和体能表现的一种补剂。在尝试任何其他补充方案之前，运动员首先应采用摄入适量碳水化合物和补充大量水的方法。确保摄入充足的总能量，并适度摄入最易消耗的能量物质，或许，这是运动员唯一能够做到的最重要的事。

表 4.3 运动员常用机能强化剂概览

补充剂	宣传效果	研究成果	副作用	合法性
酒精	缓解焦虑	无效果	极度不利	在射击比赛中禁止
氨基酸：精氨酸、鸟氨酸、赖氨酸	刺激生长激素，促进肌肉生长	无效果	未知	合法
安非他命	缓解疲劳，抑制食欲	部分有效，部分无效，部分有利	极度危险	非法
合成代谢类固醇	增加瘦体重、运动动力和力量	效果明显	极度危险	非法
雄烯二醇	与合成代谢类固醇相同	研究有限	未知	国际奥林匹克委员会禁止使用
雄烯二酮	与合成代谢类固醇相同	无效果	极度不利	国际奥林匹克委员会、美国全国大学体育协会（NCAA）禁止使用
抗氧化剂	提高肌肉恢复能力，降低肌肉损伤	部分有效，部分无效，无明显效果	轻微	合法
天冬氨酸	增强游离脂肪酸的使用，从而减少肌糖原的消耗	部分有效，部分无效	轻微	合法

（续表）

补充剂	宣传效果	研究成果	副作用	合法性
阿斯匹林	缓解伴随肌肉疲劳和肌肉损伤产生的疼痛	无效果	轻微，大剂量使用有导致肠道出血的可能	合法
蜂花粉	增强力量和耐力	无效果	有可能出现过敏反应	合法
β 受体阻断剂	缓解焦虑	改善细微的运动控制，减低有氧能力	极度不利	国际奥林匹克委员会禁止使用
血液兴奋剂	增强有氧能力	效果明显	极度危险（增加血黏度	非法
硼	增加内源性类固醇的生成	无效果	轻微	合法
支链氨基酸(BCAAs)	减缓中枢神经系统的疲劳	部分有效，部分无效	轻微	合法
咖啡因	增强肌肉收缩能力，改善有氧耐力，改善脂肪代谢	效果明显	轻微	合法
钙	增强肌肉收缩能力，改善糖原代谢	无效果	轻微	合法
碳水化合物	提高成绩，减缓疲劳	效果明显	轻微	合法
肉毒碱	增强脂肪代谢	无效果	无	合法
胆碱	改善耐力	部分有效，部分无效	无	合法
铬	增加瘦体重	无效果，除非先前存在不良症状	400 微克/天为安全剂量，超过此水平则存在危险	合法
白杨黄素	增加内源性类固醇的生成	无效果	无	合法
可卡因	刺激中枢神经系统(CNS)，延缓疲劳	部分有效，部分无效	极度不利，危险	非法
辅酶 Q-10（泛醌）	延迟疲劳，抗氧化剂	无效果	无	合法
辅酶 Q-12	改善有氧能力，加速肌肉修复	无效果	无	合法
肌氨酸	改善反复高强度活动的耐力	有效，但无有效的安全数据	短期无副作用，长期未知	合法
脱氢异雄酮(DHEA)	改善内源性类固醇的生成	对健康的运动员无效果	有潜在危险	国际奥林匹克委员会和其他组织禁止使用
利尿剂	减重，从而降低阻力	效果有限	潜在危险	国际奥林匹克委员会禁止使用
麻黄素和相关物质	刺激中枢神经系统，延缓疲劳，促进减肥	无效果	潜在危险	被国际奥林匹克委员会和其他组织禁止使用，美国和许多其他国家禁止销售

(续表)

补充剂	宣传效果	研究成果	副作用	合法性
麻黄素加咖啡因	增加能量，刺激减肥	效果有限	潜在危险，较高剂量致命	被国际奥林匹克委员会和其他组织禁止，在美国和许多其他国家销售均属非法
促红细胞生成素(EPO)	增强有氧能力	效果明显	极度不利，危险	非法
液体	增强耐力	效果明显	有部分低血钠危险	合法
叶酸	增强有氧能力	无效果	无	合法
羟基丁酸（GHB）	刺激生长荷尔蒙释放以及肌肉生长	无明显效果	极度不利（与剂量相关），潜在滥用	非法
人参	增加耐力，改善肌肉恢复力	无明显效果	轻微，报道过滥用综合症	合法
氨基葡萄糖	非甾体抗炎药替代物，提高肌肉恢复力	效果有限	无	合法
谷氨酸	提高免疫力和生长激素水平	能提高免疫力	无	合法
甘油	改善水合作用和耐力	效果有限	轻微	合法
羟甲基丁酸钙(HMB)	减缓肌肉损伤，提高恢复力	研究有限，有少量增强效果	无	合法
人类生长激素	对肌肉生长具有合成代谢作用，增强脂肪代谢	效果有限	极度不利，危险	非法
肌苷	增强能量生成，促进有氧能力	无效果	轻微	合法
铁	增强有氧能力	无效果，除非先前存在不足症状	轻微，高剂量具有毒性	合法
亮氨酸	减缓肌肉损伤，节约肌糖原储备	研究有限，无效果	无	合法
麻黄	与麻黄素相同，刺激中枢神经系统，延缓疲劳，促进减肥	无效果	潜在危险	被国际奥林匹克委员会和其他组织禁止
镁	促进肌肉生长	无效果，除非先前存在不足	高剂量时轻微	合法
烟酸	增强能量和耐力	无效果，除非先前存在不足	高剂量时轻微	合法

（续表）

补充剂	宣传效果	研究成果	副作用	合法性
氧气	增强有氧能力，改善恢复力	无效果	轻微	合法
磷酸盐	增加 ATP 生成、能量和肌肉耐力	部分有效，部分无效	高剂量时轻微	合法
植物甾醇类	刺激内源性类固醇和生长激素的释放	无效果	少量数据，可能产生过敏反应	合法
蛋白质	优化肌肉生长和修复	随着运动增加，蛋白质需求有少量增加	无	合法
丙酮酸	增加瘦体重	无效果	无	合法
D-核酸糖	增加细胞 ATP 和肌肉能量	无针对人类进行的研究	未知	合法
硒	提高抗氧化功能	有限研究，无效果	高剂量时轻微	合法
碳酸氢钠	缓冲乳酸生成，延缓疲劳	部分有效	轻微，高剂量时危险	合法
色氨酸	减缓疼痛感，增加耐力	部分有效，部分无效；对受训运动员无效果	轻微，潜在危险	合法
硫酸钒	增加糖原合成，提高肌肉恢复力	无效果	轻微	合法
维生素 B_1（硫胺素）	提高能量生成，增强有氧能力，提高注意力	无效果，除非先前存在缺乏	无	合法
维生素 B_2（核黄素）	增强有氧耐力	无效果，除非先前存在缺乏	无	合法
维生素 B_6（吡哆醇）	促进肌肉生长，缓解焦虑	无效果，除非先前存在缺乏	无	合法
维生素 B_{12}（氰钴维生素）	促进肌肉生长	无效果，除非先前存在缺乏	无	合法
维生素 B_{15}（二甲基甘氨酸）	促进肌肉能量产生	无效果，可能会导致情况恶化	未经证明，但关注提高	合法
维生素 C	作用相当于抗氧化剂，增强有氧能力和能量产生	无效果，除非先前存在缺乏	高剂量时轻微	合法
维生素 E	作用相当于抗氧化剂，改善有氧能力	某些积极效果	轻微	合法
育亨宾	增强内源性类固醇产生	无效果	轻微	合法
锌	增强肌肉生长，增强有氧能力	无效果，除非先前存在缺乏	轻微	合法

Adapted, by permission, from D.M. Ahrendt, 2001, "Ergogenic aids: Counseling the athlete," *American Family Physician* 63(5): 913-922.

第2篇

达到最佳运动能力的营养因素

5 消化和吸收

与非运动员相比，运动员需要更多的能量物质，液体、维生素和矿物质，所有这些重要物质必须通过胃肠（GI，gastrointestinal）道进行消化和吸收，以供器官和肌肉使用。熟悉通过胃肠道进行营养素和液体供给的相关知识，对运动员来说是非常重要的。比如，了解胃排空的规律，可以让运动员采取最佳策略以摄取最大数量的能量和液体，而不会引起恶心和呕吐。了解营养素和液体的消化和吸收知识，可以帮助运动员寻求最佳方法，将所需要的营养素和液体提供给运动肌肉，同时保持血容量（体能的关键）。根据胃肠道功能，使摄取的食物以最佳的方式进行消化和吸收，可以提高运动能力，并将无规律进餐所造成的潜在不利影响降到最低。例如需要补充铁和钙，了解这些矿物质的胃肠道吸收情况，可以帮助运动员制订出合理的膳食计划，通过正常饮食摄入这些物质。

这一章所讲述的内容是：判断何时向运动员提供最急需的营养素和液体（特别是在训练和比赛期间），同时降低胃肠道不适的风险。这些信息有助于读者理解，在运动和非运动情况下的胃肠道功能特点，让读者在各种情况下获得最佳的饮食方法。

胃肠（GI）道

食物是营养素的载体，胃肠道的工作就是将食物分解（消化）为营养成分，并将这些营养素带入到血液和淋巴中，提供给细胞（吸收和运送）。消化和吸收营养素并将吸收的营养素运送到身体组织——这个过程在将食物放入嘴里的时候就开始了，然后经过胃肠继续进行——在这方面，我们的身体拥有惊人的效能。在通过胃肠道的过程中，食物被机械地分开，又在化学物质的强大作用下将营养素释放出来，然后在酸性物质的作用下发生根本变化，最后被压缩以便残留物质排出体外。

口腔和食道

口腔和食道的健康对于运动员来说非常重要，因为无论哪一部分出了问题，都必然会限制食物的摄取，从而影响营养物质的摄入，最终导致营养不良。考虑到运动员所摄入的食物和运动饮料中单一碳水化合物含量相对较高，这些食物容易导致龋齿，建议经常去看牙医，以确保牙齿和牙龈健康。另外，许多体育运动项目（比如举重）需要很强的腹部力量，这使运动员容易得食管裂孔疝，这个病又容易引发食道炎。急性食道炎发作的时候非常疼痛，会造成吞咽困难，这必然会导致食物摄入受到限制。



在运动的时候摄入食物和饮料，味道会和平常不一样。在训练过程中，运动员要尝试和适应饮料，以便为竞赛时要饮用的饮料做准备，这是非常重要的。

从把食物放入口中起就开始了消化进程的一系列活动。咀嚼将食物分裂开来，使其可以更充分地与消化酶混合，然后唾液淀粉酶开始对碳水化合物进行消化（主要是将煮熟的淀粉转换为糊精和麦芽糖）。唾液和淀粉酶的分泌源于食物的觉、色、香、味。放

入口中的所有食物都覆以唾液，唾液中含有糖蛋白黏液。这种黏液具有很好的润滑性，可以帮助食物通过食道滑入胃中，而不会引起不适感。口腔里的 pH 值大约为中性（介于 6.0~7.0 之间，见表 5.1)，在食道内这个值保持不变。

表 5.1 胃肠道内的 pH 值范围

位置	pH 值
口腔	6.0~7.0（中性）
食道	6.9~7.1（中性）
胃	2.0~2.5（强酸性）
小肠	6.9~7.1（中性）
大肠	6.9~7.1（中性）

注：pH 值为 1=蓄电池酸液。

食物和饮料在口腔里的感觉和味道与运动员是否接受它们有很大关系。这些食物和饮料的特性，通常指它们影响感官的特性，在运动期间都会发生变化，对运动员而言考虑到这一点是很重要的。因此，躺在沙发上看电视的时候品尝一种运动饮料的味道，并由此决定这种运动饮料在运动期间的味道是不适当的。简而言之，食物和饮料的味道和感觉在运动的时候与非运动的时候是不同的。如果你是一个自行车运动员，想要为你下次比赛尝试一种碳水化合物饮料，你应在进行自行车运动一段时间之后品尝，否则你可能在比赛的时候大吃一惊。总之，如果要尝试一种食物（无论是运动饮料还是点心），都要在进行运动的过程中来品尝。

胃

食物通过食道到达胃，在胃里进行其他的消化过程。其 pH 值快速地从 6.0~7.0 变为 2.0~2.5。胃里这种强酸性环境，使得一系列促进蛋白质消化的活动开始进行，同时继续进行在口腔就已经开始的混合行为。胃里的特定细胞还产生一些内在因子，用于吸收维生素 B_{12}。长时间不能吸收维生素 B_{12}，最终会导致恶性贫血。

肠胃的急性刺激（即胃炎）的风险因素通常包括，过多地服用非类固醇消炎药物(NSAID)、过多饮酒以及年龄的增长。运动员最有可能患胃炎的常见原因是经常服用 NSAID，这种药物可能会刺激胃黏膜。NSAID 药物有处方用药（例如甲氧基甲基萘乙酸）和非处方用药（如阿司匹林或布洛芬)。这些常用的止痛药会减少胃中一种被称之为前列腺素的保护性物质。当偶尔服用或短期服用，特别是与可抗酸药或食物一起服用时，NSAID 通常不会引起大量胃部问题。但是，经常服用可能会导致胃炎，并最终导致胃溃疡。与运动员发生胃炎有关的其他可能的因素有：

- 强烈的体力和心理压力
- 酗酒
- 幽门螺旋杆菌感染（H. pylori）[1]
- 服用可卡因

胃排空

胃排空指的是食物和饮料离开胃的速度。高脂肪、高蛋白的食物和饮料需要花较长时间进行消化，并且在胃里也需要更多的处理时间。因此，在比赛和训练前的膳食应该考虑到胃排空时间。为了使运动期间胃里不再有固体食物，高蛋白和高脂肪的饮食至少应该在运动前 2.5 小时摄入；而低纤维、含淀粉的碳水化合物饮食至少应该在运动前 1.5 小时摄入。运动过程中，如果胃里有食物，就会引起恶心和呕吐。此外，饱胀感可能会影响摄入足够的液体，从而导致脱水和热应激。自行车运动员也许能较好地忍受运动中胃里存在固体食物，但是通常来说，所有的运动员最好不要在太临近运动前用餐。下列已知因素会影响胃排空[2, 3]：

- 摄入食物的体积（胃内容物的总体积越大时，胃排空的速度越快）
- 能量密度（密度越高，胃排空越慢）
- 碳水化合物的种类（葡萄糖比其他单糖和双糖的胃排空速度慢）
- 渗透压（渗透压越高，胃排空越慢）
- pH 值（偏离中性溶液会阻碍胃排空）
- 运动强度（运动强度越大，胃排空越慢）
- 压力（严重的心理压力，使胃排空减慢）

胃排空及其相关问题的更多信息请参见第 3 章。

小肠

小肠有三个不同的腔室：十二指肠（离胃最近），空肠（中间）和回肠（离大肠最近）。所摄入的食物经过胃而形成的液体物质进入小肠进行另外的消化过程，并且在胃肠道中被血液和淋巴进行第一次吸收。幽门瓣把胃和小肠分开。临近幽门瓣的一小部分小肠就是二价矿物质的主要吸收部位，包括铁、钙、镁和锌（它们对运动员都很重要）。

因为吸收部位很小，所以二价矿物质是竞争性的吸收。因此，某一种二价矿物质的过高摄入可能会占用整个吸收部位，使其很难再吸收其他二价矿物质。营养均衡原则是很重要的（也就是摄入过多不如刚刚合适）。例如，女运动员常常适当关注她们的含铁状况，但是频繁的高剂量铁摄入可能会减少钙、镁和锌的吸收，从而引发一系列的其他营养问题。简言之，二价矿物质摄入的策略对于优化营养健康是极其重要的，因为这些矿物质与肌肉功能、骨骼健康和运动能力紧密相关。

在临近十二指肠吸收矿物质的部位，胆管和胰管进入小肠[4]。胰腺受到促胰液素的刺激分泌胰液，沿胰管往上释放到十二指肠。由于胰液的量大（每天 600~800 毫升之间），并且呈高度碱性（pH 值接近于 8.0），因此它可以中和离开胃的酸性食物。胰腺还产生几种消化酶，包括：

- 将淀粉消化成糊精和麦芽糖的胰淀粉酶；
- 将较大的蛋白质消化成较小的多肽的胰蛋白酶；
- 把脂肪消化成甘油一酯、游离脂肪酸和甘油的胰脂肪酶。

当然，胰腺也产生高效的激素（β 细胞产生胰岛素，α 细胞产生胰高血糖素）。胰岛素将在后面的章节讨论。

肝脏会产生胆汁，胆汁在使用之前被储存在胆囊中。小肠分泌的胆囊收缩素，向上流入胆管，刺激胆囊把储存的胆汁向小肠释放。胆汁是一种能促进脂肪消化的强有力的乳化剂[5]。每天产生的胆汁量在 500~1100 毫升之间，这有助于理解我们能够快速消化和吸收脂肪的原因[6]。

小肠黏膜细胞（主要在十二指肠里）分泌把双糖分解为组分单糖的酶。具体说来，这些双糖分解要进行以下几个步骤：

- 蔗糖酶把蔗糖分解成葡萄糖和果糖。
- 麦芽糖酶把麦芽糖分解为两个葡萄糖分子。
- 乳糖酶把乳糖分解成葡萄糖和半乳糖。

这些看似不重要的消化酶是运动员需要考虑的重要因素，特别是当它们和运动饮料的成分有关的时候。例如，从纯葡萄糖（细胞基本能量来源）获得 100%能量的运动饮料会引发胃排空延迟，而且一旦被吸收，就会使血糖（葡萄糖）出现快速而短暂的升高，另一方面，含有蔗糖与葡萄糖组合物的等热量运动饮料有一种固有的优势，可以将血糖保持更长的时间。饮料中低浓度的葡萄糖不会严重延缓胃排空，所以葡萄糖会快速注入血液，而不会引起血糖短暂快速地异常升高。蔗糖会被消化成其组分葡萄糖和果糖，这是一个长时间的过程。在这个分解中产生的葡萄糖将和饮料中原有的葡萄糖一样继续被吸收，而果糖将会在融入血液之前在肝脏内转化成葡萄糖（需要更多的时间）。最终结果就是，血糖达到的峰值较低，而且葡萄糖持续不断地进入血液，从而使运动员感觉精力充沛的时间更长。

营养素主要在十二指肠和空肠内被吸收，但是一些吸收也会在回肠和大肠内进行，如：

- 矿物质主要是在十二指肠附近被吸收。
- 单糖和水溶性维生素主要在空肠中被吸收。
- 脂溶性维生素、氨基酸、脂肪、维生素 B_{12}[7] 和胆汁盐主要在回肠中被吸收。

小肠的内表面由微绒毛组成，微绒毛显著增加它的吸收面积，这就是小肠能够高效吸收所摄取的能量供应物质的原因：吸收 98%的可消化碳水化合物；吸收 95%的脂肪；吸收 92%的蛋白质。

大肠

大肠由六部分组成，包括盲肠、升（右）结肠、横结肠、降（左）结肠、乙状结肠和直肠。小肠在盲肠位置和大肠相连，而盲肠实际上是升结肠的起始部分。一个连在盲

肠上的凸出物被称为阑尾，它没有具体的功能。然而阑尾容易被感染，就是人们所称的阑尾炎。大肠的主要功能是从大便里重吸收水分，并排出剩余的相对干的废物。每天的饮食摄入和肠内排泄至大肠的液体大约有 5 加仑（19 升）。如果没有充分吸收这些液体就会引起脱水。下列因素可以保持胃肠道的健康：

- 足够的膳食纤维（黏性：可溶性）
- 足够膳食纤维（无黏性：不可溶性）
- 最适宜的细菌群
- 足够的液体
- 有规律的运动；身体活动
- 含有足够叶酸的均衡饮食
- 减少单糖的摄入
- 避免细菌感染
- 避免使用抗生素（扰乱微生物）

大肠是细菌聚集的地方，其中的很多细菌对人体营养都是必不可少的。有些细菌产生维生素 K（一种重要的凝血物质）。细菌群对大肠的正常功能也是很重要的，它可以制造一种帮助肠壁蠕动的气体，并且可以协助消化某些物质。某些摄入的食物可能会产生一种健康的细菌群以压倒试图侵占肠道的“有害细菌”。例如，活性（live culture）酸奶经常含有保加利亚乳酸杆菌和嗜热链球菌[8]，它们在发酵中将巴氏灭菌牛奶转化成酸奶。此外，一些酸奶还含有嗜酸乳杆菌和双岐杆菌。根据饮食和使用抗生素的不同，肠道细菌的数量也有所不同，多时可占粪便重量的一半。感染“有害”的细菌会产生一种刺激物来增加黏膜分泌的黏液量，使得大肠无法从大便中再吸收水分，从而引起腹泻。当然，使用抗生素会干扰肠道里的细菌群，常常引起肠道功能异常，直到“健康”的细菌恢复为止。

大肠的常见问题包括便秘、腹泻、憩室病或者憩室炎以及肠癌。罹患便秘、憩室病和肠癌的风险随着纤维摄入过低而增加。减少疾病危险和保持健康肠道功能的膳食纤维摄入推荐量是 20~25 克 / 天，目前，美国人的消耗量大约为这个推荐数量的一半。为了达到推荐的膳食纤维摄入水平，运动员需要每天摄入至少 5 份新鲜水果和蔬菜、3 份全谷食物，并且偶尔吃点豆类食物。由于较高的纤维摄入会产生气体和发胀，如果运动员不在正确的时间摄入纤维，进而影响训练或比赛的话，他们就可能会遇到发挥欠佳的情况。关于进食时机的选择方面的问题随后将会在本书中进行全面探讨。

运动员的胃肠道问题

水合状态频繁波动会使消化和吸收变得困难，对于这个问题，运动员应该时刻注意保持比赛中液体摄入与需求相匹配。还应当关注由竞赛和过度训练引起的压力问题；胃肠道功能障碍（例如恶心、胃炎或大肠炎）是一种由于长期压力和缺乏休息引起的常见

疾病。一旦产生了与压力相关的胃肠问题，营养吸收效率就会大大降低。这会造成很多其他营养不良症状，而这些营养不良症状只有在运动员恢复到压力更小、更放松的状态之后，才会痊愈。

运动员胃肠道不适的常见原因如下：

- 脱水
- 在训练过程中饮用了只含果糖的饮料
- 在训练过程中饮用了碳酸饮料
- 发烧、发热
- 过度使用机能强化剂
- 过度训练引起的疲劳
- 大剂量摄入维生素和矿物质
- 心理和生理压力

运动前

在即将参加训练和比赛之前的即刻，营养均衡的用餐不仅不必要，还可能会产生相反的作用。在训练之前，运动员应该保持其血糖浓度，保持最佳的水合状态，并保持空腹状态。为了达到上述状态，应注重运动前最后一餐含淀粉的低纤维碳水化合物以及液体摄入，随后按照正确的摄入方法饮用运动饮料，以使血糖和血容量保持在训练或比赛之前的水平。训练前的一餐饭如果吃得太快，可能会造成血糖过低；如果进食时间太靠近训练或比赛，则不能保持运动中的空腹状态。

运动中

在体育活动中最常见的错误是直到感到口渴时才摄入液体。在感到口渴时饮用液体，并不能使训练过程中正在运动的肌肉产生水合作用（参见第 3 章），另外，口渴时的自然反应是一次性饮用大量的液体。因为口渴的感觉说明运动员已经脱水，胃排空将延迟，这会使运动员感到恶心。一般来说应该注意，在训练过程中应避免发生口渴的现象，这样摄入的液体将很快地离开胃，然后很快被运送给缺水的肌肉。另外，在训练过程中不能摄入固体食物或高浓度的糖类饮料（例如，含糖浓度超过 8%的饮料），除非运动员知道这些食物或饮料不会引起胃肠不适。

运动后

脱水程度越是严重，就需要补充越多的液体。但是，脱水会引起胃排空延迟，所以已脱水的运动员不应该一次摄入大量的液体，而应该持续、少量地摄入液体，直到感觉脱水状况得到改善。对于那些连续几天训练或比赛的运动员，训练或比赛刚刚结束的那

一刻是对消耗的糖原进行补充的最好时机。当糖原存储量最低的时候，糖原合成酶的水平最高。



在训练过程中，运动员不应该摄入食物或含糖浓度高的饮料，因为胃肠不适会对运动员的训练产生不良影响。

糖原合成酶可以将葡萄糖转化成糖原，所以，在训练刚结束之后，在身体状况容许的情况下，摄入含糖量高的食物是一种很有必要的做法。这种做法会受到运动员脱水程度的影响，脱水程度越是严重，可以摄入的食物量就越小（因为脱水会造成胃排空延迟）。

6 能量和液体摄入的时机

按照传统观点，能量和营养素的提供以24小时为单位。尽管这些指导性意见对一部分人来说可能有用，但是对于想要获得最优化物质与能量供给来提高成绩的运动员来说是不够的。简单说来，能量物质和液体的摄入应当与消耗保持动态的平衡。任何远离这一原则的供给系统，都不能帮助运动员保持最佳的训练状态。研究表明，保持能量摄入和消耗的动态平衡，可以帮助运动员保持瘦体重、降低体脂水平、增加健康的感觉，并提高运动能力。通过对一天内的能量平衡、进食频率以及基础的生理和营养原则进行研究，证明了降低能量过剩和能量不足的重要性，本章对这个研究进行了关键的概述。另外，本章还为在早晨和午后训练、午后和晚间训练，或一天一次的日常训练形式的运动员，如何在一天内维持最佳的能量和液体平衡，提供相应的实用策略。

运动对营养需求主要有两个作用：一个是能量消耗增加；一个是以汗液流失的形式引起体内水分丢失的增加，因为随着能量代谢水平的提高，产热也会增加。运动员必须增加能量物质和液体摄入，以满足额外的营养

需求。然而，营养调查结果表明：运动员既没有摄入足够的食物，也没有饮用足够的液体[1-3]。而且，能量供给的时间也并不合理，这将对身体成分和运动能力带来消极的影响[4-6]。

我们非常了解运动员因运动营养不良所带来的结果：那就是他们过度依赖运动补剂来克服消耗所引起的能量和液体不足。通过改善食物和饮料的摄入，运动员可能获得比任何其他方式都更好的效果。在提高运动能力方面，相比于依赖运动补剂来说，关注食物和饮料是花费更少、更值得信赖、更为安全的策略，而且运动补剂可能含有不确定的成分，质量也难以预料。

最后 5000 米的能量来源

“营养学家对三位女子马拉松运动员的饮食方式进行了分析，她们都具有良好的饮食习惯，而 Deena 是最接近于理想饮食方式的运动员，她在热量的摄入和消耗之间取得了良好的平衡。为了维持这种能量的平衡，她在运动场内经常大胆地进食，很少避讳任何食物。在克里特岛（Crete）上，她依照营养学家的建议对自己的饮食方式进行了调整，并坚持完成了在克里特岛上进行的所有训练，她第一次感到自己如此强大。2004 年雅典奥运会女子马拉松比赛中，Deena 最后突然爆发，她在 35 公里到 40 公里这 5000 米中跑出 16 分 20 秒的成绩，是整个比赛中所有选手里最快的 5000 米成绩——而这一切都是在上山 21 公里后、华氏 90 度的温度下达到的。最终 Deena 排在 Noguchi 和 Catherine Ndereba 之后，获得第三名。”［Julia Emmons. 山上训练：一位奥运会马拉松教练关于 2004 年奥运会的观点. Marathon & Beyond，2005 年；9（1）：53-66.］



Deena Kastor 向雅典主会场的终点线前进。

注：Deena Kastor 获得了 2004 年雅典奥运会的铜牌，这是 20 年来首位获得奥运会马拉松奖牌的美国女性。

为提高成绩而摄入能量

关于能量摄入的讨论多数都集中在能量、物质、碳水化合物、蛋白质和脂肪的优化分配上。尽管普遍推荐高蛋白、低碳水化合物的膳食，但毫无疑问，高复合碳水化合物、适量蛋白质以及相对低脂肪的饮食，更有利于提高比赛成绩。而在能量摄入不足的

情况下，进行这种讨论是毫无意义的。简而言之，就如同在燃油不足以使你抵达目的地情况下，讨论是否使用高标号燃料一样没有意义。

体重以及去脂体重的稳定性，是衡量能量摄入与需求是否匹配的最佳指标。因为在能量摄入不足的情况下，身体会尝试补偿这些不足的能量，从而引起体重减轻，或者引起去脂体重减轻（也有可能同时引起上述两种情况）。对于大多数运动员来说，相对较低的去脂体重和相对较高的脂肪重量并不是他们需要的结果，甚至有可能成为成绩下降的相关因素。为了降低此类相对高脂肪含量的体重，运动员通常会采取的一种非常不明智的做法，降低能量摄入，来进一步减少多余的脂肪。这种持续降低能量摄入的后果是体重减轻，但是去脂体重的丢失量大于脂肪的减轻量，以至于脂肪在整个体重中所占的比重进一步增大[7, 8]。如果热量摄入不足，身体会减少代谢旺盛的物质（即肌肉重量）以降低新陈代谢率和对热量的需求。

以降低能量摄入的方式来适应持续增长的相对脂肪重量的饮食过程，可能是摄食紊乱的先兆，而摄食紊乱在运动员中经常发生，并会影响到运动员的主观表现[9]。为了强调这一点，应该注意的是神经性厌食症患者在死亡时体重减轻得很厉害，去脂体重也大大减轻（特别是心脏的重量是正常重量的 50%），但是身体内的脂肪比例却相对较高。因此，能量摄入严重缺乏会导致去脂体重的减轻量大于脂肪的减轻量[10]。那种认为大量减少热量摄入（即摄食减少）就能够改善体型和身体成分的观点是没有根据的。尽管短期的体重减轻可能会暂时与成绩提高相关，但是从长远效果看来，低热量饮食会降低所需营养物质的摄入（这种问题表现为经常生病，并会增加骨密度降低的风险性）；同时，短期体重减轻还会降低肌肉重量（以适应热量摄入的不足），并且还会造成体重反弹，反弹后的身体成分中，脂肪比肌肉组织更多。更糟糕的是，在较低瘦体重的情况下，希望正常饮食而不增加体重也变得更加困难。

一种个体能量平衡的观点，也许能说明运动员应该如何进食以达到最佳身体成分，提高运动成绩。对四组国家级女运动员（健美操、艺术体操、中距离赛跑以及长跑）所做的研究发现，无论能量偏差表现得过剩还是不足，那些与最优能量平衡偏差最大的运动员具有最高的身体脂肪水平（图 6.1）[11]。事实上，健美操运动员的能量欠缺最为严重（接近−800 千卡 / 天），而她们也是所有被评估组中身体脂肪比例最高的，而中距离跑运动员具有最佳的每日能量平衡和最低的身体脂肪比例。

这一点充分地表明，多数运动员的饮食习惯是不能满足竞技目标的。因为他们典型的饮食习惯的特征是，不规律地用餐和只强调一天结束时晚餐的大量摄入，而运动员白天都处于能量缺乏的状态。尽管上述能量不足能够在一天结束之时得到补充，进而使运动员达到能量平衡状态，但该饮食结构的典型特征是体重稳定，但身体脂肪含量却高于理想水平。

当你注意到血糖水平是如何变化时（饭后升高，然后趋于稳定，3 小时后下降），你便能很清楚地理解产生较高身体脂肪比例的原因。推迟进食，血糖就会下降，从肌肉组织募集的丙酮酸就会通过肝脏转化为葡萄糖。尽管血糖水平稳定了，但却是通过消耗肌肉组织得以实现的。此外，低血糖和过量进食都伴随高血胰岛素的增多，

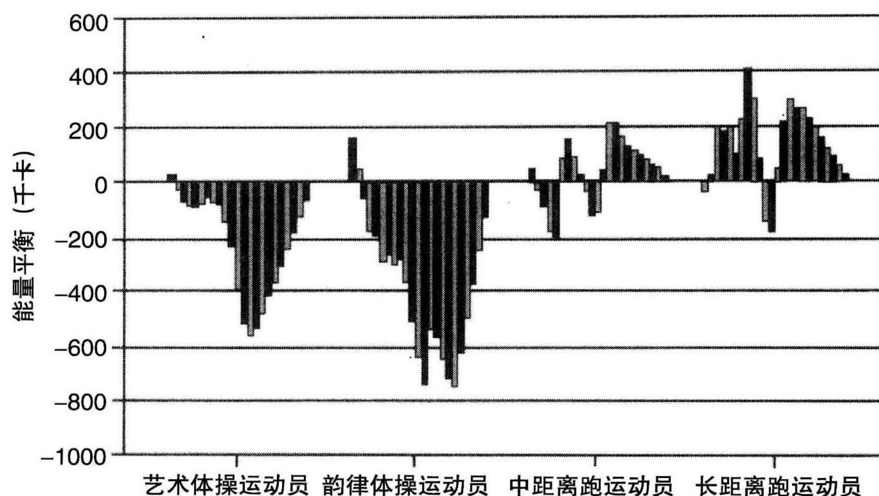


图 6.1 身体成分和一天内的能量平衡

Reprinted, by permission, from B. Deutz, D. Benardot, D. Martin and M. Cody, 2000, "Relationship between energy deficits and body composition in elite female gymnasts and runners," *Med Sci Sports Exerc* 32(3): 659-668.

而这会促进脂肪的生成。过量进餐之后紧随的延迟进食是运动员典型的一种饮食习惯。这种饮食习惯是一种降低肌肉重量、增加脂肪重量的理想方式，很显然，这并不是运动员想要的。少量多餐能降低能量不足或能量过剩的程度，并有助于稳定血糖水平。

许多评估饮食频率的研究都得出了相同的结论：越高频率的饮食习惯，身体脂肪水平越低，而肌肉含量越高 [12-14]。此外，频繁的进食为增加能量摄入提供了简单易行的策略，同时降低大量进餐所引起的肠胃不适 [12]。

一项评估饮食频率对拳击运动员身体成分和体重影响的研究发现，在摄入相等热量的条件下（两组在 2 周内摄入等量的热量），每日进餐 2 次的小组去脂体重明显下降，然而每日进餐 6 次的小组却没有明显下降 [6]。另一项对摔跤运动员周期性体重变化进行的研究发现，长期采用极低热量摄入饮食结构的运动员具有更低的代谢率，这意味着去脂体重的减少 [15]。

这些研究表明，一日之内明显的能量摄入不足，无疑会引起肌肉的分解代谢，而这可以通过少量多次的进食方式来避免。这与近来对 60 名男性和女性大学生运动员所做的一项研究发现一致。该研究评估在每顿主餐之间和饭后增加 250 千卡的点心或无热量的空白安慰剂所产生的影响（例如，在早餐和午餐之间，在午餐和晚餐之间以及晚餐后提供每日 750 千卡的点心）。该方案实施 2 周后，进食含热量点心的小组，身体脂肪含量明显下降，去脂体重明显升高，无氧能力与无氧耐力明显改善，而在体重和热量摄入总量上并无变化 [16]。结果有趣的是，由于能量摄入没有变化，因此体重保持不变（能量热力学的一条重要原则）。在对其他进餐并没有要求的情况下提供点心，运动员自发减少其他餐食的量，其用餐中减少的部分从点心中得到补充。如果没有用上述方式使用餐食量减少，就会增加热量摄入总量，并导致体重上升。

在此研究后，停止提供点心，他们仍采用以前的饮食习惯，4 周后对运动员进行重新测量。结果是他们的身体脂肪和肌肉重量又回到实验前的基础值。研究结果清楚地表明，除非一项新的习惯成为被公认的标准，否则，运动员的饮食习惯将会成为他 / 她默认的惯例（即每天两顿或三顿，一天结束后进行一次大餐）。实际上研究已经发现，环境（即运动员共同进餐的对象，可以获得的食物等）在饮食习惯方面起着主要的作用[17]。让运动员改变自己的进食模式，而进行更高频率的进餐是非常困难的。

动物实验研究同样发现，增加进餐频率的好处是，能避免一天内大量的能量不足和能量过剩。以狗为研究对象来进行的一项研究发现，少量、频繁的进餐而非低频率的大餐来提供一定量的热量，能显著地降低胰岛素对食物的反应，甚至是对那些喂饲高碳水化合物食物的狗，也有着相同的作用。除这个明显的好处之外，进餐次数增多还能引起更高的生热作用（更快的代谢率）和更好的脂肪动用[18]。这对于运动员意味着什么呢？对食物的高胰岛素反应将转化为高脂肪生成，因此，胰岛素的反应降低意味着减少脂肪的生成。拥有更快的代谢率，在单位时间内燃烧的热量就更多，运动员就不容易因摄入能量过多而发胖。这些因素加上更有效的脂肪动用，就可以使进食更多、摄入更多营养、维持肌肉重量和较低身体脂肪比例成为可能。不进行多次进食，会引起日间的轻微饥饿状态，而这对提高代谢率起着相反的作用。由此产生的低代谢率，与高脂肪含量和难以在正常进食的情况下不增加体重相关[19-21]。就更频繁进食本身而言，它在食物的热效应方面起着重要作用（由于进食而燃烧的能量数量；更高的燃烧率被认为是有益的，因为它与更低的身体脂肪相关）。与进食不规律、进食间隔时间较长相比，规律、较短时间间隔的进食方式具有更高的食物热效应[22]。

足以减少一天内能量不足和过剩的多次进食带来的好处，远不只体现在体成分、体重和运动能力上。还有证据表明，有频繁进食习惯的人，具有更低的血脂水平和心血管疾病危险因数[23]。在评价斋月期间食物限制所带来的影响的一项研究发现，胰岛素和瘦素（脂肪细胞产生的一种激素）水平都相应增加。这两者都与更多的脂肪生成相关[24]。

许多关注体重问题的运动员，都已学会了通过进食减肥产品（健怡可乐比较受欢迎）来应对低血糖的感觉。尽管这些减肥产品对于满足身体对能量的真实需求，进而维持足够血糖毫无意义，但是它们确实提供了一种能够掩饰饥饿感觉的中枢神经系统刺激（通常是咖啡因）。然而，由于该策略维持着低血糖水平，因此不可避免地会造成肌肉变少、脂肪增多。研究表明，唯一适当的减重策略是一种轻微的能量不足，而这种轻微的能量不足与一日内能量平衡状态相比，只存在一点微弱的偏差。

运动员该怎么做呢？那就是绝对不能感到饥饿。典型的一日三餐式饮食习惯，每隔 5~6 小时补充能量，难以达到此目的；而运动员在训练后大量摄入能量的饮食习惯，使之更难以实现。由于血糖水平在 3 个小时内会升高或下降，因此分食进餐计划是可行的。如果一个运动员体重稳定，开始该过程的最佳方式是，早餐时吃掉整顿早餐的一部分，上午 10 时左右吃下剩余的早餐，午餐和晚餐也照此执行。热量摄入的总量保持不变，但是运动员却能够避免日间急剧的能量不足和能量过剩。通过这种饮食方式除了能

改善营养摄入和带来更好的身体成分外，运动员还有望提高精神敏锐度和运动能力（参见第16~18章，举例说明不同热量摄入情况下，如何避免一天内急剧能量过剩或能量不足的膳食计划）。

关于液体摄入

研究显示，即使是在体内有可用液体存在的情况下，运动员也会发生一定程度的自发性脱水，而这会降低血容量，并对运动能力产生负面影响[25]。考虑到在运动期间通过汗液蒸发而带走的巨大热量，运动员必须寻求维持水合状态的策略。如果无法维持水合状态，将导致运动能力下降，还可能引起热病。

温度调节表示产生或接收的热量（热量进入）与散发的热量（热量排出）之间的平衡。当身体的温度调节系统正常运行时，进入身体的热量和排出的热量处于最佳的平衡，进而维持正常体温[26]。安静状态下，消耗或散发热量的两个主要机制是：（1）使更多的血液流向皮肤，以便通过辐射进行热消散；（2）增加出汗率。当一个人在安静状态下，这两个机制大约占热消耗的85%，但是运动期间，几乎所有的热消耗都源于汗液的蒸发。

运动中的肌肉需要更多的血流量来传送营养物质和清除新陈代谢副产物，但是同时需要将血液从肌肉转向皮肤以增加出汗率。在低血容量情况下，这些系统中的一个或两个运转失灵，将导致运动员竞技能力的下降。

高强度运动时，产生的热量可能比休息时多20倍。在缺乏有效途径排出过多热量的情况下，体温将快速上升。人类生存的上限是大约110华氏度（43.3摄氏度），或者说，只高于正常体温11.4华氏度（6.3摄氏度）。体温有可能以每5分钟1华氏度的速度上升，由此可推断，体内水分不足的运动员仅仅在运动开始后57分钟就可能面临中暑的危险[27]。

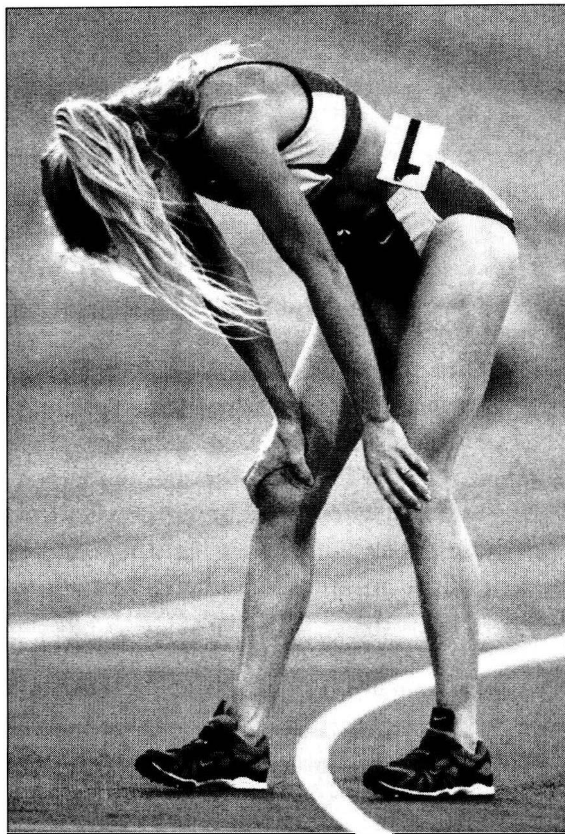
运动员高强度运动30分钟，将产生450千卡的多余热量，而这些多余热量需要被排出以维持正常体温。1毫升的汗液能带走约0.5千卡的热量，所以，运动员将损耗大约900毫升（差不多1升）的汗液以排出这450千卡的多余热量。在1个小时的高强度运动中将损耗大约1.8升的水。在晴朗炎热的日子，当太阳的温度使肌肉活动增加所产生的热量增多时，运动员甚至将需要更多的汗水以排出更多的热量。潮湿环境中，汗液不容易从皮肤蒸发，因此，在湿热的天气时，将会产生更多的汗液。训练有素的运动员在湿热环境中每小时可能损耗3升以上的体液[28]。

若要保持最佳的耐力水平，取得最佳运动成绩，体内水分含量低是不可接受的。因此，运动员应采取一定的策略在运动过程中维持最佳的体内水分含量。然而，运动员常常将口渴作为何时喝水的标志。口渴感只在损耗1~2升的体内水分后才会出现，所以口渴不是何时喝水的恰当指示[29]。相反，运动员应该就如何不会感到口渴而制订相应策略。理论上，这个策略应该包括：帮助运动员确定在标准的运动时间内消耗了多少液体，以及根据该信息制订一份固定的液体饮用计划［通常每10~15分钟饮用3~8盎司

(90~240 毫升）含钠的 6%~8%碳水化合物溶液]。

关于能量摄入

运动员最常问的问题是，在比赛之前吃什么。尽管这很重要，但是与运动员平时应该怎么吃相比，这就无足轻重了。运动员站在起跑线之前几个小时食用一些薄饼为竞赛做准备是不恰当的。改善并获得良好的营养需要持续且长久的努力。一个缺铁的运动员不可能通过在赛事前一天食用一些红色肉类（如牛、羊肉），而奇迹般地改善这一状况。而需要花费 6 个月的时间进行适当的饮食，以便于达到正常的含铁状态。因此，准备竞赛的第一步，也是最重要的步骤是，持续摄入足够的能量和营养物质，以保证身体的能量和营养需求。如果做不到，则无论你在竞赛之前采取何种方式，都将不可避免地导致竞赛结果欠佳。



训练期间未摄入足够能量会导致竞赛结果欠佳。

除了摄入足够的能量和营养物质之外，选择在身体可以从食物中获益最多的时间进食也同样重要。掌握进餐的时机，对于保证肌肉在训练过程中有足够的能量和营养以维持生长并变得更强壮，也是非常重要的。而运动员如果进食不足，在运动中将不得不消耗肌肉以获得所需能量。简而言之，吃够且按时吃是很重要的。这不容易做到，因为运动员有非常繁忙的工作安排，需要进行有策略的思考和很好的行程安排，才能确保在需要时能够进食。尽管一份详细的膳食计划似乎并不如一份完善的训练计划重要，但实际上两者应被视为具有同等重要性。上述两个因素也应当同时予以考虑，以确保膳食计划为训练计划提供适当支持。

如果所有的膳食可以对训练计划给予支持，那么运动员在赛前几天的安排应该有什么不同呢？赛前 7 天的工作程序应该达到以下三个主要目标：

1. 运动员应该逐渐转换到休息状态。这对于许多运动员和教练员来说可能是一个问题，因为运动员（不管是否有教练员的鼓励）在赛前一周常常增加训练安排。过度训练是一个大问题，可能会增加运动员患病或受伤的危险，这肯定不利于运动员在即将来

临的比赛中发挥出最佳水平。

2. 运动员应该逐步增加肌糖原（能量）的储备。赛前，逐渐降低训练的强度和持续时间，其主要目的在于，保证运动员能够以充足的肌糖原储备开始比赛。肌糖原的储备量相对较小，并且运动员肌肉活动过分依赖于肌糖原（不论运动员从事的什么类型的运动，它都是肌肉活动的能量物质）。因此，摄入大量的碳水化合物和减少运动是很重要的，以便在进入竞赛时有充足的糖储备。

3. 运动员应该有良好的水合状态。当运动员剧烈运动时，很难维持最佳的水合状态。恢复所损耗的体内水分需要时间，并且运动员应该通过降低训练强度和减少训练持续时间，以及通过多喝水使自己有机会达到最佳的水合状态。多喝水的另一个好处，就是增加糖储备。在赛前 7 天中逐渐地减少训练，使运动员更容易在一个体内水分充足和最佳能量储备的状态下开始比赛。

当然，许多运动项目不允许运动员在 7 天的时间内逐渐减少运动。在整个赛季中，篮球和曲棍球运动员每周进行几场比赛，并且篮球运动员几乎每天都要打球。尽管他们的训练安排不允许在 7 天内减少运动，但是应该记住，如果能减少运动、增加糖储备和维持最佳水合状态的话，就应该尽可能遵守这些原则。对于那些日常训练安排难以将运动量逐渐减少的运动员来说，高碳水化合物饮食和维持最佳的水合状态，就成为提高运动成绩更为重要的因素。采用这些训练安排的运动员，应该制订与他们训练、竞赛计划同样完整的饮食计划。

随着比赛临近，运动员会时常通过强化训练为大型比赛做准备。这是一个极大的错误。从事技能性项目（如花样滑冰和体操）的教练员，可能要求他们的运动员在竞赛前一天多次排练他们的技术动作和套路，只是为了保证他们在比赛中能做出这些。但这传送给运动员的信息（即，“我认为你没有准备好，并且我们将继续练习，直到你会为止”）将产生相反的效果。最能够为运动员树立自信的方式，莫过于在得到充分休息的情况下参加竞赛，而且教练员肯定他们能够做好。无论是专业运动员还是少年棒球联赛中的乐乐棒球运动员，这都是适用的。

运动前的碳水化合物摄入

在运动前约 90 分钟完成高碳水化合物膳食，被证明能够提高运动员的耐力水平。在运动前进餐之后，运动员应该摄入碳水化合物，直到训练或竞赛开始，以避免低血糖。可遵循以下两个策略：

1. 如果每 10~15 分钟消耗 60~120 毫升的饮料，可通过啜饮摄入含碳水化合物的运动饮料。

2. 每 15 分钟吃低纤维点心、含淀粉食物（如苏打饼干），用足够的水冲服。

运动员应该避免刺激低血糖反应的饮食方式，这可能是由于大量摄入具有高血糖生成指数的食物而引起。但是也应该避免摄入不易消化碳水化合物或延迟吃饭造成的低血糖症。吃零食和小口抿的进食方式是可以接受的，并且能帮助维持血糖水平。

运动中的碳水化合物连续使用

避免低血糖和肌糖原储备的损耗，对于维持运动能力都很重要。运动期间摄入（即使在运动中较晚时候摄入）含碳水化合物的饮料（如运动饮料）和食物，可以延缓疲劳出现，提高运动能力。这个策略通过以下机制延缓疲劳：

1. 维持血糖浓度，减少肝糖原的消耗；
2. 维持支链氨基酸（BCAA）水平，避免由于色氨酸和支链氨基酸比例失调而引起的中枢疲劳；
3. 抑制对肌肉组织具有分解作用的皮质醇的产生；
4. 通过从血液持续向运动中的肌肉细胞输送血糖，减少肌糖原的消耗。

运动过程中，6%~7%的碳水化合物溶液最容易被吸收，每 10~20 分钟应摄入 120~240 毫升（摄入量取决于出汗率，参见第 3 篇）。许多不同的碳水化合物饮料可供运动员使用，每种饮料具有不同的碳水化合物浓度和成分。饮料的渗透压以及是否会引起胃肠道的不适，应该被考虑到。浓度同为 6%的葡萄糖、果糖、蔗糖溶液中，果糖溶液会引起更多的胃肠道不适。因此，运动员在关键时刻饮用饮料之前，应该考虑自身对饮料中果糖的耐受性（大多数运动饮料包含多种类型的碳水化合物）。

鉴于乳糖的不耐受比较常见，极少有运动饮料是以牛奶为基础或将乳糖作为主要的碳水化合物形式生产。乳糖不耐受是由于乳糖酶分解的不完全产物所引起的，会导致腹泻、胀气和腹痛。考虑到一些运动员存在乳糖不耐受的可能性，运动员需要谨慎小心，在运动前和运动期间避免食用含乳糖的产品[30]。

葡萄糖聚合物具有能够在低渗透压的溶液中，输送更多碳水化合物的优势[31]。与具有相等热量的单糖相比，葡萄糖聚合物可以加速胃排空和促进吸收。长期从事高强度运动的运动员，在运动训练期间可能需要大量的碳水化合物提供能量，而葡萄糖聚合物可以为这些运动员提供一个良好的解决方案。

运动后的碳水化合物补充

运动后，糖原和体液通常被耗竭到一定的程度，对蛋白质也有更高需求以促进肌肉恢复。蛋白质和液体问题将在本书的其他章节进行讨论，在此仅介绍碳水化合物和糖原问题。

运动后主要目标之一是补充糖原，为运动员的下一次训练做准备。当糖原耗尽时，血液中糖原合成酶水平上升。糖原合成酶有效提升时，补充的葡萄糖或蔗糖（而非果糖）合成糖原以恢复肌糖原的储备[32]。运动后即刻，糖原达到最大耗竭，糖原合成酶水平也达到它的峰值。因此，训练一结束，运动员就应该立即摄入碳水化合物。理想的做法是，运动后 2 个小时摄入高浓度的碳水化合物，接下来的 2 个小时摄入中等浓度碳水化合物，当天剩余时间里摄入中等至高浓度碳水化合物。运动员应该计划在运动后即刻通过摄入碳水化合物（50~100 克）来补充 200~400 千卡热量，紧接着摄入更加充足的碳水化合物，以满足表 1.6 中提出的需求（运动员的碳水化合物需求量，第 12 页）。

碳水化合物（糖）负荷

无论是低强度的耐力性运动项目，还是间歇性运动项目（如许多集体项目），或是短时间的高强度运动项目，训练前摄入碳水化合物以增加储备，都能降低疲劳过早发生的几率[33-38]。

碳水化合物负荷法是许多运动员在耐力竞赛前通常采取的一种策略，用以增加肌糖原储备。一般的方法是在比赛开始前一周，每天逐渐增加碳水化合物和液体的摄入[39]，同时逐渐减少训练[40]。这一合理安全的策略能够使糖原储备最大化（使糖原储备最大化通常采用的方法比较，见图 6.2）。

碳水化合物负荷法的一种老式策略，涉及在低碳水化合物饮食的同时，通过剧烈的运动消耗碳水化合物[41]。这是遵循前面章节提到的技术。这种老式碳水化合物负荷法非常危险（糖原储备的耗尽可导致突发、致命性血压降低），而且并没有证据证明它能够更好地优化糖原储备。

七天递减法

以下表格提供了一个关于如何运用碳水化合物存量最大化原则的范例，这个例子阐明了运动员在典型的每天两次训练下可进食的物质以及如何进食。可以发现，食物被分为 6 份较小的份额，而并非 2~3 份较大的份额。还可以发现，膳食摄入的热量水平并未强调每天最后的晚餐。虽然晚餐很重要，但训练都是在晚餐前进行，因此充足的能量必须在运动员最需要的时候提供。早餐应在早晨训练前提供，因为当运动员醒来后，血糖含量处于最低水平，肝脏储备的能量物质几乎已经耗尽，因此保持血糖水平实际上是不可能的。在早晨训练前吃一些食物，能够确保肌肉会从训练中获得益处，并使运动员感觉更好。没有人会在低血糖情况下感觉良好。

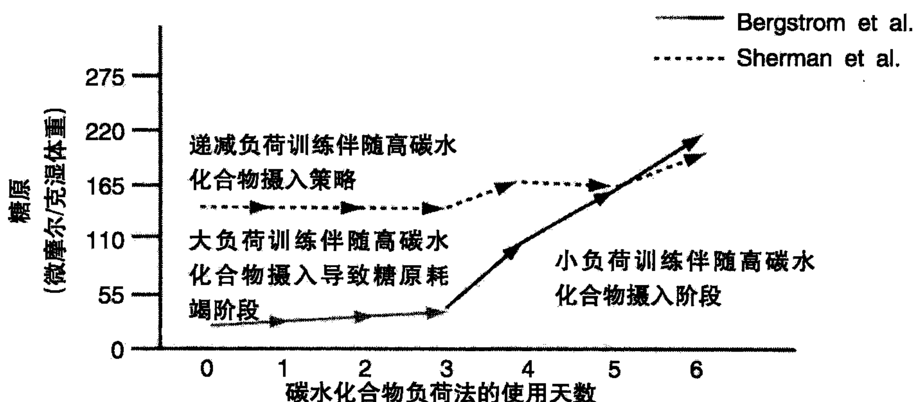


图 6.2 Bergstrom 等人（1967）和 Sherman 等人（1983）的碳水化合物负荷法比较
（注意：Bergstrom 等人的消耗阶段具有潜在危险，不建议采用）

如表中所示，食物应在运动前足够长的时间内摄入，这样运动员才不会因为食物留在胃里而在运动中感到不适。此外，膳食计划总是包括训练结束后立即摄入一些碳水化合物，这有助于确保有效补充训练期间消耗的糖原。训练过后等待太长时间进食，可能降低肌糖原补充的效率。

比赛前七天

比赛前的一周是进行全面、总体和补漏练习的时期。运动员应完整、反复地练习所有技能，并集中在他或她最薄弱环节。如果篮球选手在比赛中存在罚球问题，那么在进行了所有其他练习的强化训练后，应当花大量的时间来练习在罚球线上投篮。他或她应领会到疲劳的感觉，就像在比赛中的感觉一样。换句话说，比赛前 7 天不是对训练产生畏惧的时间。给自己的身体一次足够良好的锻炼，这样你便会知道你已经为竞赛做好了准备（竞赛前 7 天递减负荷范例时间表，见表 6.1）。

表 6.1　赛前第七天训练及饮食计划

时间	活动	食物
7：00–8：00	• 简单早餐（着装训练前） • 上午训练着装	• 2 片烤面包 • 1 杯果汁 • 1 杯运动饮料 【平均 300 千卡】
8：00–9：30	• 伸展活动（30 分钟） • 1 个小时剧烈跑步、骑 • 自行车或器械练习	• 伸展活动期间 1 杯运动饮料（30 分钟内啜饮完毕） • 1 小时活动期间 480 毫升的运动饮料（每 15 分钟啜饮 120 毫升） • 【约 150 千卡】
9：30–10：00	• 训练后早餐（洗漱及着装前）	• 1 个煮鸡蛋 • 4 片加 2 汤匙果酱的烤面包 • 1 个新鲜橙子 • 1 碗（杯）加 180 毫升 1%浓度牛奶的全谷类麦片粥 • 360 毫升果汁 【约 900 千卡】
10：00–12：30	• 沐浴更衣 • 放松活动（阅读、散步、屋内轻松的工作、案头工作等）	• 啜饮 360 毫升液体（任意类型，含有咖啡因或酒精的除外） 【如果是运动饮料，约 75 千卡】
12：30–13：00	• 午餐	• 一大碗（2.5 杯）意式酱料通心粉 • 3 片法式面包 • 360 毫升果汁 【约 1200 千卡】
13：00–14：45	• 午餐后放松（阅读、案头工作、慢步、驾驶等）	• 啜饮 360 毫升水 【0 千卡】
14：45–15：30	• 为下午训练做准备（着好训练服等）	• 啜饮 360 毫升运动饮料 【约 75 千卡】
15：30–19：00	• 午后训练 • 技术练习 • 调节练习 • 耐力练习 • 逐渐产生汗水！	• 每一个小时啜饮 480 毫升的运动饮料(每 15 分钟 120 毫升) • 训练前后称量净体重，检查是否消耗了适当数量的液体。每失去一斤重量，就应该额外摄入 480 毫升饮料 【约 350 千卡】

（续表）

时间	活动	食物
19：00–19：30	• 训练后营养补充	• 1 根香蕉 • 360 毫升运动饮料 • 2 片面包 【约 315 千卡】
19：30–20：00	• 淋浴和着装	• 禁止饮用淋浴水，除非口渴难耐
20：00–21：00	• 晚餐	• 大份烤制土豆 • 西兰花（1 枝） • 小份瘦肉牛排（120 克） • 橙汁（1 杯） • 米饭布丁（1 杯） 【约 1050 千卡】
21：00–22：00	• 休息活动	• 1 杯水或运动饮料（啜饮） 【如果是运动饮料，约 75 千卡】
22：00–第二天早上 7：00	• 保证优质的睡眠！	• 禁止进食或饮水！

总摄入量：4500 千卡
79%的能量来自碳水化合物
11%的能量来自蛋白质
10%的能量来自脂肪

注：本例中的食物摄入量满足一名体重为 190 磅（86.4 公斤）具有高强度训练计划的运动员。本例中，比赛前 7 天的能量需求估计为每公斤体重 50 千卡。重要的是，该方案具有高液体、高碳水化合物、低脂肪和适度蛋白质的特点。此类型摄入可以帮助肌肉和肝脏内的糖原（能量）储存。体重低于此标准的运动员在保持相同的进食频率的同时应适当减少食物摄入量。

在此训练期，应遵循本书中在开始阶段讨论的所有方案。在训练期间饮用大量的含碳水化合物液体是非常重要的（见第 3 章）。在训练后摄入大量的碳水化合物同样重要。在训练结束后立即从碳水化合物中（100 克）摄入至少 400 千卡能量是理想的，接着在接下来的几个小时中摄入至少 800 千卡（200 克碳水化合物）能量。这是对你的肌肉对在训练中消耗的糖原进行补充的第一步尝试。

比赛前六天

比赛前六天代表逐渐减少运动量的第一天，也是保持高碳水化合物和充足水分摄入的时期。因为活动减少，能量摄入总量也减少，以便与需求相匹配。可以通过减少训练时间或降低训练强度来减少运动量。例如，举重运动员可以少做几次重复运动或以较小重量做相同的重复运动。不论采用何种方法，赛前 6 天提供的训练计划不应像赛前 7 天那样把能量消耗殆尽（表 6.2）。

表 6.2 比赛前六天训练及饮食计划

时间	活动	食物
7：00–8：00	• 简单早餐（着装训练前） • 上午训练着装	• 1 片烤面包 • 1 杯果汁 • 1 杯运动饮料 【平均 230 千卡】
8：00–9：30	• 伸展活动（30 分钟） • 1 小时剧烈跑步、骑自行车或器械练习	• 伸展活动期间 1 杯运动饮料（30 分钟内啜饮完毕） • 1 小时活动期间 360 毫升运动饮料（每 15 分钟啜饮 120 毫升） 【约 125 千卡】
9：30–10：00	• 训练后早餐（洗漱及着装前）	• 1 个煮鸡蛋 • 2 片加 2 汤匙果酱的烤面包 • 1 个新鲜橙子 • 1 碗（杯）加 180 毫升 1%浓度牛奶的全谷类麦片粥 • 240 毫升果汁 【约 690 千卡】
10：00–12：30	• 沐浴更衣 • 放松活动（阅读、散步、屋内轻松工作、案头工作等）	• 啜饮 360 毫升液体（任意类型，含有咖啡因或酒精的除外） 【如果是运动饮料，约 75 千卡】
12：30–13：00	• 午餐	• 一大碗（2.5 杯）意式酱料通心粉 • 2 片法式面包 • 240 毫升果汁 【约 1000 千卡】
13：00–14：45	• 午餐后放松（阅读、案头工作、慢走、驾驶等）	• 啜饮 360 毫升水 【0 千卡】
14：45–15：30	• 为下午训练做准备（着好训练服等）	• 啜饮 360 毫升运动饮料 【约 75 千卡】
15：30–19：00	• 午后训练 • 技术练习 • 相比前一天降低调节/耐力练习强度 • 高强度但并非力竭的强化训练	• 每一个小时啜饮 480 毫升的运动饮料（每 15 分钟 120 毫升） • 训练前后称量净体重，检查是否消耗了适当数量的液体。每失去一斤重量，就应该额外摄入 480 毫升饮料。 【约 350 千卡】
19：00–19：30	• 训练后营养补充	• 1 根香蕉 • 360 毫升运动饮料 • 2 片面包 【约 315 千卡】
19：30–20：00	• 淋浴和着装	• 禁止饮用淋浴水，除非口渴难耐
20：00–21：00	• 晚餐	• 大份烤制土豆 • 西兰花（1 枝） • 小份瘦肉牛排（120 克） • 橙汁（1 杯） • 米饭布丁（1 杯） 【约 1050 千卡】
21：00–22：00	• 休息活动	• 1 杯水（啜饮）
22：00–第二天 7：00	• 保证优质的睡眠！	• 禁止进食或饮水！

总摄入量：　　3900 千卡
78.5%的能量来自碳水化合物
11.3%的能量来自蛋白质
10.2%的能量来自脂肪

注：本例中的食物摄入量满足一名体重为 190 磅（86.4 公斤）具有高强度训练计划的运动员。本例中，比赛前第 6 天的能量需求估计为每公斤体重 45 千卡。重要的是，该方案具有高液体、高碳水化合物、低脂肪和适度蛋白质的特点。该类型摄入帮助肌肉和肝脏内的糖原（能量）储存。体重低于此标准的运动员在保持相同的进食频率的同时应适当减少食物摄入量。

比赛前五天

在减少训练强度和时间的第二天，仍保持相同的高碳水化合物和水分的摄入，按照需要减少总能量摄入。比赛前 5 天的特征是，运动员训练量明显少于平常（表 6.3）。

表 6.3 比赛前第五天训练及饮食计划

时间	活动	食物
7：00–8：00	• 简单早餐（着装训练前） • 上午训练着装	• 1 片烤面包 • 1 杯运动饮料 • 禁饮果汁 【平均 115 千卡】
8：00–9：30	• 伸展活动（30 分钟） • 1 小时适当强度的跑步、骑自行车或器械练习	• 伸展活动期间 1 杯运动饮料（30 分钟内啜饮完毕） • 1 小时活动期间 360 毫升运动饮料（每 15 分钟啜饮 120 毫升） 【约 125 千卡】
9：30–10：00	• 训练后早餐（洗漱及着装前）	• 1 个煮鸡蛋 • 2 片加 1 汤匙果酱的烤面包 • 1 个新鲜橙子 • 1 碗（杯）加 180 毫升 1%浓度牛奶的全谷类麦片粥 • 120 毫升 （半杯）果汁 【约 600 千卡】
10：00–12：30	• 沐浴更衣 • 放松活动（阅读、散步、屋内轻松工作、案头工作等）	• 啜饮 360 毫升水
12：30–13：00	• 午餐	• 一大碗（2.5 杯）意式酱料通心粉 • 3 片法式面包 • 120 毫升果汁 【约 925 千卡】
13：00–14：45	• 午餐后放松（阅读、案头工作、慢走、驾驶等）	• 啜饮 360 毫升的水
14：45–15：30	• 为下午训练做准备（着好训练服等）	• 啜饮 360 毫升的水
15：30–16：30	• 午后训练 • 技术练习 • 相比前一天减少调节/耐力练习强度 • 减少训练时间并降低强度	• 每一个小时啜饮 480 毫升的运动饮料（每 15 分钟 120 毫升） • 训练前后称量净体重，检查是否消耗了适当数量的液体。每失去一斤重量，就应该额外摄入 480 毫升的饮料 【约 350 千卡】

(续表)

时间	活动	食物
16：30–19：30	• 训练后营养补充	• 1 根香蕉 • 360 毫升运动饮料 • 1 片面包 【约 250 千卡】
19：30–20：00	• 淋浴和着装	• 禁止饮用淋浴水，除非口渴难耐！
20：00–21：00	• 晚餐	• 大份烤制土豆 • 西兰花（1 枝） • 小份瘦牛排（110 克） • 1 杯水 • 米饭布丁（1 杯） 【约 850 千卡】
21：00–22：00	• 休息活动	• 1 杯水（啜饮）
22：00–第二天早上 7：00	• 保证优质的睡眠！	• 禁止进食或饮水！

总摄入量：3200 千卡
75.61%的能量来自碳水化合物
12.54%的能量来自蛋白质
11.85%的能量来自脂肪

注：本例中的食物摄入量满足一名体重为 190 磅（86.4 公斤）具有高强度训练计划的运动员。本例中，比赛前 5 天的能量需求估计为每公斤体重 40 千卡。重要的是，该方案具有高液体、高碳水化合物、低脂肪和适度蛋白质的特点。该类型摄入帮助肌肉和肝脏内的糖原（能量）储存。体重低于此标准的运动员在保持相同的进食频率的同时适当减少食物摄入。

比赛前四天

比赛前四天，是一个制订最终比赛策略的绝佳时机。当天强化训练应将重点放在运动员关键技术环节，加强技术练习，但要防止训练到力竭。如前一天一样，应保持高碳水化合物和水分的摄入以满足需要。

这一天也是适当多吃些蛋白质的良好时间，达到每公斤体重 2 克，以保证满足所有组织修复的需要，并且支持肌酸生成。对于一名 190 磅（86 公斤）的运动员来说，每公斤体重需要 2 克的蛋白质，总共达到 172 克蛋白质。第 1 章案例里每公斤体重提供 1.26 克的蛋白质，在一般情况下运动员正常需求范围内（每天 1~2 克）。因此，仅仅提供少量额外蛋白质，只是为了避免蛋白质摄入不足成为一个能力的限制因素。

比赛前三天

与比赛前 4 天相似，比赛前 3 天继续注重中等强度训练、高碳水化合物与低脂肪摄入，配合少量增加的蛋白质（达到每公斤 2 克）。当天内的其他活动也应减少，将更多的时间用于身体和心理放松。运动员应绝对避免因任何活动变得过度兴奋或精疲力竭。比赛前 4 天和比赛前 3 天，采用表 6.4 提供的训练及饮食计划。

表 6.4 比赛前第四天和第三天训练及饮食计划

时间	活动	食物
7：00–8：00	• 简单早餐（着装训练前） • 上午训练着装	• 1 片烤面包 • 1 杯运动饮料 【平均 115 千卡】
8：00–9：30	• 伸展活动（30 分钟） • 1 小时低中强度跑步、骑自行车或器械类活动	• 伸展活动期间 1 杯运动饮料（30 分钟内啜饮完毕） • 1 小时活动期间 360 毫升运动饮料（每 15 分钟啜饮 120 毫升） 【约 125 千卡】
9：30–10：00	• 训练后早餐（洗漱及着装前）	• 2 个煮鸡蛋 • 2 片加 1 汤匙果酱的烤面包 • 1 个新鲜橙子 • 1 碗（杯）加 180 毫升 1%浓度牛奶的全谷类麦片粥 • 120 毫升（1/2 杯）果汁 【约 530 千卡】
10：00–12：30	• 沐浴更衣 • 放松活动（阅读、散步、屋内轻松工作、案头工作等）	• 啜饮 360 毫升的水
12：30–13：00	• 午餐	• 中碗（1.5 杯）意式酱料通心粉 • 2 片法式面包 • 1 根香蕉（可以用 120 毫升果汁代替） 【约 800 千卡】
13：00–14：45	• 午餐后放松（阅读、案头工作、慢走、驾驶等）	• 啜饮 360 毫升的水
14：45–15：30	• 为下午训练做准备（着好训练服等） • 伸展活动（至少 30 分钟）	• 啜饮 360 毫升的水
15：30–17：30	• 午后训练 • 练习技巧 • 自前一天减少调节/耐力训练强度 • 减少训练时间并降低强度	• 每一个小时啜饮 480 毫升的运动饮料（每 15 分钟 120 毫升） • 训练前后称量净体重，检查是否消耗了适当数量的液体。每失去一斤重量，就应该额外摄入 480 毫升饮料 【约 350 千卡】

（续表）

时间	活动	食物
17：30–19：30	• 训练后营养补充	• 1 根香蕉 • 360 毫升运动饮料 • 省去面包 【约 175 千卡】
19：30–20：00	• 淋浴和着装	• 禁止饮用淋浴水，除非口渴难耐！
20：00–21：00	• 晚餐	• 中份烤制土豆 • 西兰花（1 枝） • 小份瘦肉牛排（110 克） • 1 杯水 • 米饭布丁（1 杯） 【约 850 千卡】
21：00–22：00	• 休息活动	• 1 杯水（啜饮）
22：00–第二天早上 7：00	• 保证优质的睡眠！	• 禁止进食或饮水！

总摄入量：3000 千卡
65.0%的能量来自碳水化合物
20.0%的能量来自蛋白质
15.0%的能量来自脂肪

注：本例中的食物摄入量满足一名体重为 190 磅（86.4 公斤）具有高强度训练计划的运动员。本例中，比赛前 4 天和比赛前 3 天的能量需求估计为每公斤体重 35 千卡。重要的是，该方案具有高液体、高碳水化合物、低脂肪和适度蛋白质的特点。该类型摄入帮助肌肉和肝脏内的糖原（能量）储存。体重低于此标准的运动员，在保持相同的进食频率的同时，适当减少食物摄入。

比赛前两天

比赛前两天是进行更多休息的绝佳时机，而实现这一目标的最好方式就是取消晨练计划，下午训练时间减少到 1.5 小时以下，进行适中训练并降低强度。训练重点应放在复习技术和加强心理策略调整上，这样才能有效地进行比赛。当然，碳水化合物及液体摄入应保持在较高的水平（表 6.5）。

比赛前一天

比赛前一天应尽量多休息（身体和精神上的）和放松。运动员及教练员应停止多项跑步训练任务、全速跑或是完全达到“比赛强度”的训练。绕着赛场散步，熟悉比赛地点，或观看对手录像都是可以的，但前提是这样不会让运动员感到紧张或无法放松。运动心理学家曾指出，也许观看自己比赛成功时的录像，会比看对手可能做什么效果更好。比赛前一天，运动员应该已经收到了关于竞争对手的简要消息，以及应采取什么样的对策。

表 6.5 比赛前第二天训练及饮食计划

时间	活动	食物
←稍晚起床，无晨练→		
9：30–10：30	• 训练后早餐 （洗漱及着装前）	• 2 个煮鸡蛋 • 2 片烤面包，1 茶匙果酱 • 1 个鲜橙子或香蕉 • 1 碗（1 杯）加 180 毫升 1%浓度牛奶的全谷类麦片粥 • 1 片白烤面包 • 1 杯运动饮料 【约 650 千卡】
10：00–12：30	• 淋浴更衣 • 放松活动（阅读、散步、在屋子周围轻松运动、案头工作等）	• 啜饮 360 毫升的水
12：30–13：00	• 午餐	• 中碗（1.5 杯）意式酱料通心粉 • 2 片法式面包 • 1 根香蕉 【约 800 千卡】
13：00–14：45	• 午饭后放松（阅读、案头工作、散步，骑车等）	• 啜饮 360 毫升的水
14：45–15：30	• 为下午训练做准备（着好训练服等） • 伸展运动（至少 30 分钟）	• 啜饮 360 毫升的水
15：30–17：00	• 傍晚练习 • 技巧练习 • 减少训练的时间并降低强度	• 每小时啜饮 480 毫升的运动饮料（每 15 分钟 120 毫升） • 训练前后称量净体重，检查是否消耗了适当数量的液体。每失去一斤重量，就应该额外摄入 480 毫升的饮料 【约 350 千卡】
17：00–19：30	• 运动后营养补充	• 1 根香蕉 • 360 毫升运动饮料 【约 175 千卡】
19：30–20：00	• 淋浴和着装	• 禁止饮用淋浴水，除非口渴难耐！
20：00–21：00	• 晚餐	• 中份烤制土豆 • 西兰花（1 枝） • 小份瘦肉牛排（110 克） • 1 杯水 • 米饭布丁（1 杯） 【约 800 千卡】
21：00–22：00	• 休息活动	• 1 杯水（啜饮）
22：00–第二天早上 7：00	• 保证优质的睡眠	• 禁止进食或饮水

总摄入量： 2800 千卡
65.0%的能量来自碳水化合物
20.0%的能量来自蛋白质
15.0%的能量来自脂肪

注：本例中的食物摄入量满足一位体重为 190 磅（86.4 公斤）具有小、中等强度训练计划运动员。本例中，赛前两天的能量需求估计约为每公斤体重 35 千卡。重要的是，该方案具有高液体、高碳水化合物、低脂肪和适度蛋白质（大约每公斤体重 1 克蛋白质，以保证组织修复）的特点。此摄入类型帮助肌肉和肝脏中的糖原（能量）存储。体重轻于此标准的运动员，在保持相同的进食频率的同时，应适当减少食物摄入量。

这几乎是运动员确定自身糖原储备达到峰值的最后机会，并且应保持稳定的液体摄入从而保证以体内最佳水合状态去参加第二天的比赛（表 6.6）。运动员所进食的碳水化合物应含大量淀粉和含量相对较低的纤维，通心粉、面包、米饭及水果（不吃果核及果皮）是不错的选择。蔬菜和豆类含有丰富的纤维，但容易产气（会使人感到不适及胃胀气）。十字花科的蔬菜（卷心菜、芽甘蓝、大头菜）则是众人皆知的产气食物。

比赛当天

比赛当天，运动员应避免做任何不适应的活动，或食用任何不适应的食物，这是很重要的。运动员应配有一张必备品清单，并在其上指明所需物品的位置。比赛当天可不是绕着屋子大喊“我的跑鞋哪去了”的时候。要把事情做得四平八稳，并拟定备用计划以防任何事情出差错（例如交通）。

表 6.6　比赛前一天训练及饮食计划

时间	活动	食物
←稍晚起床，无晨练→		
9：30–10：00	• 早餐 （注意：如果高纤维麦片导致胃胀气或产生胃气，应避免食用。如果食用，爆米花或玉米片可能是很好的替代品）	• 2 个煮鸡蛋 • 2 片烤面包 1 匙果酱 • 1 个新鲜的橙子或香蕉 • 1 碗（1 杯）加 180 毫升 1%浓度牛奶的全谷类麦片粥 • 1 片白面包 • 1 杯运动饮料 【约 650 千卡】
10：00–12：30	• 淋浴更衣 • 放松活动（阅读、散步、室内轻量作业，案头作业等）	• 饮用 360 毫升水
12：30–13：00	• 午餐	• 中碗（1.5 杯）西班牙米饭 • 2 片法式面包 • 1 根香蕉 【约 800 千卡】
13：00–14：45	• 午餐后放松（阅读、案头工作、慢步、驾驶等）	• 啜饮 360 毫升水
14：45–15：30	• 为下午练习做准备活动（穿好训练服等） • 伸展运动（至少 30 分钟）	• 啜饮 360 毫升水
15：30–17：00	• 午后练习应该相当温和。在附近散步或熟悉比赛场性质的散步是比较好的活动 • 训练的时间和强度应该较低	• 每 1 小时饮用 480 毫升运动饮料（每 15 分钟 120 毫升） • 训练前后称量净体重，检查是否消耗了适当数量的液体。每失去一斤重量，就应该额外摄入 480 毫升饮料 【大约 350 千卡】
17：00–19：30	• 训练后营养补充	• 1 根香蕉 • 360 毫升运动饮料 【约 175 千卡】
19：30–20：00	• 淋浴和着装	• 可啜饮瓶装液体避免口渴

(续表)

时间	活动	食物
20：00 –21：00	• 晚餐 （注意：避免食用可导致胃胀气或者产生胃气的高纤维蔬菜。一般认为白菜、花椰菜、花菜和生菠菜会产生胃气）	• 中份烤制土豆（不吃皮） • 煮制萝卜（3/4 杯） • 去皮中份鸡胸肉（烤制） • 1 玻璃杯水 • 米饭布丁（1 杯） 【约 800 千卡】
21：00 –22：00	• 休息活动	• 一杯水（啜饮）
22：00 –第二天早上 7：00	• 保证优质的睡眠！	• 禁止进食或饮水！

总摄入量：　2800 千卡
65.0%的能量来自碳水化合物
20.0%的能量来自蛋白质
15.0%的能量来自脂肪

注：本例中的食物摄入满足一名体重为 190 磅（86.4 公斤）具有少量活动计划运动员。本例中，比赛前一天的能量需求估计为每公斤体重 35 千卡。重要的是，该方案具有高液体、高碳水化合物、低脂肪和高蛋白质的特点（大约每公斤体重 1.8 克，以确保满足组织修护）。此类型摄入帮助肌肉和肝脏中的糖原（能量）存储。注意，重量轻于此标准的运动员，在保持同样摄入频率的同时，应适当减少食物摄入量。

在比赛当天适当地进食和饮水是相当重要的，所以要确保你可以立即得到适当的食物和饮水（不要随便食用）。你有责任了解自身的需求，并满足它。想象一下，如果在全年练习中都饮用运动饮料 X，却在比赛当天早晨起床时发现，你的配偶没有在商店内找到运动饮料 X，却买了运动饮料 Y 代替，会是怎样的结果。应避免在比赛当天将自己陷于产生压力的任何情况中。

清晨比赛 如果在清晨进行比赛，你应该比平常提前 2~3 个小时上床睡觉。如果你很难在清早起床，在比赛前几天，就应该开始练习。给自己足够时间进食一些碳水化合物，并饮用一些液体，然后开始比赛。至少在开始比赛前 1.5 小时完成进食（假设主要食用了含淀粉的碳水化合物）。不同的运动员消化食物的方法不同，所以了解进食和比赛之间的最佳时间间隔非常重要。一些运动员在比赛前 2 小时完成饮食感觉最佳，而其他运动员则在比赛前 3 小时感觉最佳，每个运动员应该了解其自身的习惯是什么。如果全队共同用餐，运动员应该略微进行必要的调整，以确定每样东西都适合自己。进食后，保持啜饮运动饮料的习惯直到比赛开始。运动员不应处于仓促匆忙的状态。如果出现此感觉，食物不可避免地成为罪魁祸首，而且，运动员在整场比赛中可能会出现耐力较差或胃肠（GI）方面的问题和困扰。

上午晚些时候或下午早些时候的比赛 人们常常在上午晚些时候和下午早些时候感到疲倦与饥饿，因为他们在早餐中进食的食物在此时已经停止供能。因此，让运动员每隔 2.5~3.5 小时进食一些食物，就显得尤为重要。对于一项在上午 11:00 进行的比赛，应在早上 6:30 起床并进食早餐，然后在上午 9:00 再次进食。上午 9:00 进食后，开始

不断啜饮液体直至比赛开始为止。对于一项在下午早些时候（13:00）进行的比赛，在上午10:30进食最后一餐，然后就开始液体啜饮方案。在饥饿状态下参加比赛，无疑是导致失败的必然原因。

下午两三点或晚上早些时候比赛 在下午两三点或晚上早些时候进行比赛十分困难，尤其是在室外进行且天气炎热的时候。运动员一般都没有在下午两三点进行比赛的计划。最好是照例在早上用餐并饮水（早餐、早上10点左右食用点心、午餐），然后在比赛开始前1.5~2.0小时进食一些含有淀粉的碳水化合物（比如香蕉、烤面包或饼干），并饮用一些液体。然后，开始保持啜饮液体的方案直至比赛。比赛的兴奋可以让运动员忘记饥饿。因此，制订可反复练习的进餐、零食和饮用计划然后遵守，是个不错的主意。

深夜比赛 深夜同样是比赛的困难时期，身体昏昏欲睡，但是比赛却要求你保持清醒。因此，较晚的睡眠，并且每隔2.5~3.0小时食用一些东西，有助于你保持一定的能量水平，直到开始比赛。随时检查你的水合状态（尿液应该基本澄清）。记住，成功的深夜比赛是令人愉快的，它有助于获得一个良好且平静的夜晚睡眠。

七天计划总结

为比赛进行准备的主要含义就是调整你的身体，使其能够充分地储存碳水化合物（糖原）和液体。肌肉和精神应得到充分休息，并且运动员应该从教练员那里获取信心。不能过分片面强调比赛前的充分休息。如果要求运动员频繁参赛，充分的休息是至关重要的。妨碍夜晚睡眠以及良好休息的任何事情都将导致运动员发挥失常。良好的赛前准备主要包括以下几点：

1. 充分休息。
2. 比赛前6~7天开始减少身体活动。
3. 食用足够的碳水化合物以增加糖原储备。
4. 饮用足够的液体，使液体储备最大化。
5. 频繁进餐，大约每3小时一次，以便维持血糖和肌糖原水平，并让自己感觉良好。
6. 活动前摄入足够的能量，确保体内有足够的能量支持活动，此外还应当避免将肌肉作为能量物质供能。
7. 提前模拟比赛当天的进餐和饮水计划，以便让自己了解什么东西能让你感觉良好。
8. 比赛当天不要做你以前没有尝试过的任何事情。
9. 在比赛日来临之前较长的一段时间内，准备所需的一切东西（运动饮料、零食等）。

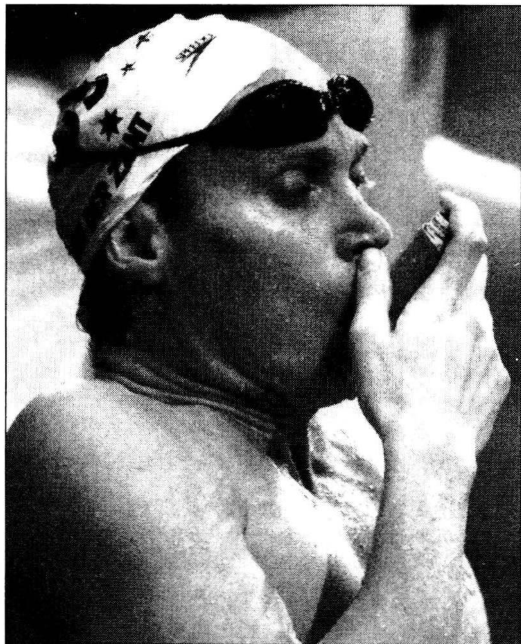
饥饿和口渴都是一种紧急的状态，预示能力下滑问题的发生。因此，需要一份结合运动员训练计划以及生活模式的计划性进餐和饮水时间表来避免出现这些情况。也许其他因素不会对健康及能力造成如此巨大的影响。简而言之，运动员要想发挥自己最佳的调节能力和技术水平，就绝不能感到饥饿和口渴。

7 有效的氧运转

有效的氧运转系统能够保证充足的氧气吸收，通过血液将氧气输送至运动细胞，利用线粒体中的氧化酶将氧气充分利用，有效带走副产物(二氧化碳)，并可通过摄入充足的抗氧化剂消除过氧化副作用。一名运动员如果缺乏如此有效的氧运转系统，要想取得成功是很难实现的。氧运转过程中，每一项功能都有重要的营养成分参与，例如，铁在氧气输送和二氧化碳排泄中起着关键性作用；维生素 B_{12} 和叶酸作用于红细胞的形成；β 胡萝卜素、维生素 C、维生素 E 及硒等抗氧化营养素可保护细胞不受氧化作用的损害。相对于安静状态，剧烈的体力活动本身可使能量利用率提高 20~100 倍，而营养素与氧气的关系则是确保能量利用率持续提高的关键因素 [1]。本章将对氧气利用中的营养关系以及氧气、营养素与运动能力之间的主要关系进行阐述。

氧摄取

空气通过鼻腔和口腔吸入，然后进入肺的左、右支气管。肺中的气体交换在人体每个支气管中的 1.5 亿个肺泡中进行。普通成年男性每次呼吸可吸入约 4 升（4 夸脱）气体，其中氧气进入肺泡，通过毛细血管传至血液，并进入红细胞中的血红蛋白。同时，血液中的二氧化碳传至肺泡中，然后呼出。空气中的氧含量约为 21%，而呼出气体的氧含量约为 15%，这表明，肺只吸收了空气中少量的氧气。空气中的含水量为 0.5%，而呼出气体的含水量约为 6%，这即证明了快速呼吸是运动员水分丢失的主要途径。



许多优秀运动员患有运动诱发性哮喘（EIA），但该病症可治愈。

细胞呼吸频率随运动强度的增加而提升，高强度运动可使肌肉中的需氧量增加 25 倍。增加的需氧量将通过提升呼吸频率和呼吸深度来补充。然而，呼吸频率的提升主要引起二氧化碳含量的提高，而非需氧量的增加。二氧化碳含量升高将促使延髓刺激控制肋间肌和膈肌的运动神经，从而增加该肌群的活动量。

肺炎、哮喘、肺气肿、支气管炎、慢性阻塞性肺病及肺癌等影响肺部功能的疾病将影响人体摄取氧气和排出二氧化碳的能力。运动员中的高发病症为运动诱发性哮喘（EIA），该病症影响相当一部分运动员。虽然运动诱发性哮喘在运动员中并非普遍存在，但据相关报告显示，有 55%的越野滑雪运动员罹患该疾病，而篮球运动员的患病率则较低（12%）[2, 3]。

运动诱发性哮喘为运动（运动中或运动后）引发的呼吸障碍，其症状包括咳嗽、哮喘和胸闷，未患有慢性哮喘的人群也有可能发病[4]。运动诱发性哮喘的非药物治疗方法包括[5]：

1. 保持良好的身体状态以避免运动诱发性哮喘。状态良好的运动员能在任何规定的运动强度下以较低呼吸频率进行运动，因此患运动诱发性哮喘的可能性较低。

2. 避免在干冷空气环境中运动。如果运动项目要求在室外该类条件下进行（如越野滑雪），运动员则应采用围巾或滑雪面具捂住口鼻，使吸入的空气温暖而湿润。

3. 热身阶段非常重要，热身强度取决于运动员对运动诱发性哮喘的反应程度。

4. 运动后的恢复阶段可通过减缓呼吸道变化，降低运动诱发性哮喘的发病率。
5. 在出现可能引发慢性哮喘的过敏症或其他情况（如果存在）引发期间应控制运动。

氧的运转和细胞利用

作为一个主要的功能，几种元素、维生素和蛋白质载体提供氧的运转和细胞利用。这些元素相互协作，从外部环境中获取氧，通过血液将氧输送至细胞中进行代谢作用，并排出代谢活动产生的副产物（包括二氧化碳）。

铁 铁是氧运转过程中的关键元素，也是血红蛋白、肌红蛋白以及能量代谢中电子传递所需的酶的组成部分。人体具有针对铁元素形成的优先利用系统，而血红蛋白则排在该系统的首位。当铁含量的降低导致血红蛋白减少时，肌红蛋白和含铁酶中的铁将被释放，以保证血红蛋白的水平。因此，即使血红蛋白和血细胞压积（评价铁状况最常见的两个指标）处于正常范围，运动员的体能也有可能降低。所以，将铁蛋白（铁储备）列入血常规检查，对于准确了解体内铁状况是十分必要的（表 7.1）。

表 7.1 与铁状况相关的术语

铁蛋白	铁蛋白为储铁蛋白类，存在于肝、脾和骨髓中，仅有少量存在于血液中。血液中的铁蛋白含量与肝、脾和骨髓中的铁蛋白量成一定比例，因此血清铁蛋白可作为检测铁含量的指标。铁蛋白水平越低，即使在“正常”范围内，患者也有可能缺铁。 铁蛋白正常值： • 成年男性：20~300 ng/ml • 成年女性：20~120 ng/ml 注意：ng/ml=纳克/毫升
红细胞压积	红细胞压积指全血中红细胞比例，通常指每单位血液中的红细胞数量。 血细胞压积正常值： • 成年男性：42%~52% • 成年女性：36%~48%
血色素沉着	血色素沉着是由铁过度吸收引起的铁异常沉积性疾病。如果铁浓度不降低，将造成肝脏损伤
血红蛋白	血红蛋白是存在于红细胞中的储铁及携氧蛋白
血铁质	血铁质是由于体内铁含量过高引发的病症，通常为输血引起。常见于地中海贫血患者中
血清铁	血清铁用于显示血清中铁的总含量。 血清铁正常值： • 成年男性：75~175 mcg/dl • 成年女性：65~165 mcg/dl
总铁结合力（TIBC）	总铁结合力为测量血液在铁分子充分饱和的条件下转铁蛋白能携带的铁含量。由于转铁蛋白由肝脏生成，因此总铁结合力可用于监控肝功能和蛋白营养状况
转铁蛋白	转铁蛋白试验是直接测量血液中转铁蛋白（也称为铁传递蛋白）的水平。转铁蛋白的饱和水平可通过总铁结合力和血清铁含量来进行计算。 转铁蛋白正常值： • 成年男性：200~400 mg/dl • 成年女性：200~400 mg/dl 转铁蛋白的正常饱和值介于 30%~40%之间

典型的缺铁性贫血包括小红细胞性贫血（小细胞）和低色素性贫血（低色素）。其特征为红细胞数量过少以及由于血红蛋白水平过低导致的细胞体积过小。

转铁蛋白 转铁蛋白是血液中的蛋白，其功能为负载铁元素并通过血液将其输送至骨髓、脾和肝，从而将铁以铁蛋白的形式进行储存或用于生成新的红细胞。转铁蛋白的半衰期相对较短，因此可作为检查近期蛋白状况的生物标记。血清转铁蛋白含量过低的原因之一为肾脏蛋白质过度流失（蛋白尿），可进一步导致肝脏转铁蛋白合成不足，因此可作为蛋白质或热量不足性营养不良的指标。同时，全身性感染或癌症也可降低血清转铁蛋白水平。血清转铁蛋白水平过低是缺铁的标志。如果运动员的血清转铁蛋白水平过低，即使体内有足够的铁，也将影响血红蛋白的生成，并将最终导致贫血。

血浆铜蓝蛋白 血浆铜蓝蛋白属含铜蛋白质，其功能为在新红细胞的生成过程中将铁由转铁蛋白转移至血红蛋白，或将铁由原有红细胞转移至新红细胞中。缺铜将导致血浆铜蓝蛋白水平过低，并能引发贫血，其症状与缺铁性（小红细胞及血色素偏低）贫血极为类似，因此可能导致误诊。血浆铜蓝蛋白缺乏与胰脏、肝脏以及脑中的铁沉积有关，可导致神经障碍。

维生素 B_{12} 维生素 B_{12} 含钴，亦被称为钴维生素，其两大主要功能为生成红细胞和保护神经系统健康。红细胞生成期间缺乏维生素 B_{12} 将导致细胞膜功能欠佳。该类细胞被称为巨幼红细胞，较易破裂，且存活期仅为正常红细胞的一半（60 天，正常为 120 天）。由于这些细胞存活期过短，因此人体需要持续快速生成新的红细胞，以维持正常的携氧能力。然而，人体并不能保持这一状态，其结果是导致贫血。维生素 B_{12} 缺乏引起的贫血由于发展缓慢且病程较长，因此被称为恶性贫血。恶性贫血为巨幼红细胞及低色素性贫血，指红细胞增大且变形，颜色偏低（血红蛋白蔓延到较大细胞区域，冲淡了血色素）。除造成携氧能力降低外，恶性贫血还会引发神经性症状和神经退变。人体仅需少量维生素 B_{12}（一个鸡蛋所含的维生素 B_{12} 足以维持一个多月）即可避免恶性贫血，但由于维生素 B_{12} 只能从肉类中摄取，因此素食运动员具有罹患该病的危险。

叶酸 叶酸、维生素 B_{12} 和维生素 C 都与蛋白质代谢息息相关。维生素 B_{12} 与叶酸是生成红细胞的必需物质。同时，叶酸还作用于神经组织的生长，并能消除新生组织中的神经管缺损。与维生素 B_{12} 缺乏引发的贫血（巨幼红细胞和低色素性贫血）相似，叶酸缺乏引发的贫血也将严重降低携氧能力。维生素 B_{12} 摄取自动物类食品，而叶酸则大部分来自新鲜水果、蔬菜及豆类食品。

氧和营养素与运动能力的关系

毫无疑问，体力活动能够改变血液中含铁水平，同样，血液中铁状态也能反过来影响身体活动能力。一项对 747 名运动员和 104 名未受过运动训练的人员进行的研究结果显示，与进行力量训练或混合型训练的运动员相比，耐力运动员的血红蛋白和血细胞压积水平较低，这表明该差异可能由稀释性假性贫血造成，也可能由较严重的足部冲击引起的红细胞破裂症造成（见下一页的阴影部分）[6]。

运动时间较长及运动量较大的运动员的铁（铁蛋白）含量也相对较少。这些发现表明，运动员的铁状态比普通人更易受到损害，而运动时间较长的运动员的铁状态受损风险则更高。因此，尽管训练时间（距离）很长的耐力运动员大部分依靠有氧代谢保持耐力，其铁状况不良的风险依然最高。

稀释性假性贫血

当运动员开始大强度训练时，他们的血容量和红细胞都会增加。但是，由于血容量增加的速度比红细胞快，因此将产生类似贫血的症状。这种情况持续时间较短（红细胞浓度最终将恢复正常），所以被称为*稀释性假性贫血*（*还被称为运动性贫血或运动员贫血*）。

足部冲击引起的红细胞破裂症

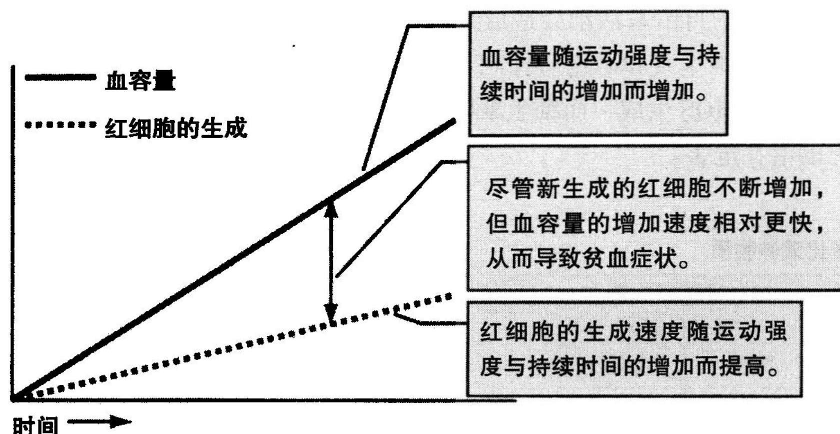
跑步时，持续的足部冲击会导致红细胞破裂。红细胞在毛细血管中循环，经过足底时因足部冲击导致破裂。足部冲击导致的红细胞破裂速度越快，运动员就越难保持正常的红细胞浓度水平（运动员无法保持快速生成红细胞的状态），从而导致贫血。

按体重级别比赛或有美学要求项目的运动员通常要限制能量摄入，因此，维生素与矿物质供给不足成为他们大多数人长期面临的问题。大部分运动员无法获得最佳的氧利用能力，必然会妨碍其实现最佳体能，因此受伤的风险大大增加。未发生贫血时，铁缺乏会降低肌肉运动的潜能，而一旦发生缺铁性贫血，携氧能力将严重下降，造成更严重的后果。

相对于非运动员人群，缺铁性贫血在运动员（女运动员尤甚）中更为普遍[7]。其影响包括导致运动员体能降低，免疫功能受损。年轻的女运动员应考虑摄入更多富含铁的食物（尤其是红肉），或在医生的指导下服用铁补充剂。

造成运动员缺铁的原因很多，包括摄入量不足、溶血和女性月经失血[8]。然而，运动员的缺铁问题通常并非由失血引起，其主要原因是，运动期间血容量增加，而红细胞等血液成分并未随之增加。这种情况被称为运动性贫血或稀释性假性贫血，是运动员提高训练强度时的一种正常状态（图 7.1）。

其他营养物质摄入不足也会影响氧的利用。镁缺乏会提高亚极限强度运动对氧的需要量，从而降低运动员耐力[9]。叶酸和维生素 B_{12} 缺乏会导致巨幼红细胞性贫血，从而引发红细胞异常变形且存活期缩短。该病症将使运动员难以持续生成红细胞，且足部冲击也会造成红细胞破裂。其结果是，能够携氧并排出二氧化碳的细胞减少，导致运动员运动能力下降。



注：持续时间或运动强度持续增加 3~5 天后，血容量和红细胞浓度之间的差异变得明显。经过一段时间，血容量停止增加，而红细胞持续生成，最终达到血容量与红细胞数量平衡，贫血症状消除。

图 7.1 稀释性假性贫血

以往的研究数据显示，血尿在运动员中更为普遍，其多重原因如下[10]：

- 足部冲击导致溶血
- 肾缺血
- 缺氧性肾损伤
- 溶血因子释放
- 膀胱或肾损伤
- 摄入非类固醇类消炎药
- 脱水
- 循环速度上升
- 肌红蛋白释放
- 红细胞过氧化反应

红细胞在尿液中的缓慢流失是由频繁的高强度长时间训练引起的，可导致贫血，进而降低运动能力。因此，运动员应当注意，摄取充足的营养物质（尤其是铁）以补充所损失的部分。值得庆幸的是，红细胞的生成过程（生成新的红细胞）在运动压力下表现出极强的适应性，只要有足够的营养物质（尤其是铁、叶酸和维生素 B_{12}）就能生成足量的红细胞[11]。一些运动员尝试通过摄入促红细胞生成素（EPO）来促进红细胞生成，但是这种血液兴奋剂属于违禁药物，并且有可能增加血液黏稠度，具有形成血栓并导致死亡的隐患[12]。

氧化应激

氧化应激指抗氧化剂不足所造成活性氧（ROS）增加[13]。ROS 又被称为过氧化物

和自由基，细胞内的自由基活动会造成细胞损伤，生成“溶渣”（死细胞）。人体通过具有抗氧化作用的维生素和矿物质抑制 ROS 生成（表 7.2）。矿物质的功能在于，通过控制酶活动以抑制 ROS 生成，而维生素则能够直接接受 ROS，将其从细胞环境中清除，从而限制它的潜在危害。

表 7.2 抗氧化营养物质

营养物质	每日推荐摄入量（19~30 岁）		功能
	男性	女性	
维生素 C	90 毫克/天	75 毫克/天	维生素 C 能清除白细胞、肺和胃黏膜中的活性氧化剂，并能抑制细胞中脂质过氧化
维生素 E	15 毫克/天	15 毫克/天	维生素 E 主要作用于防止脂质过氧化
硒	55 微克/天	55 微克/天	硒通过硒蛋白产生作用，可形成抗氧化酶。膳食参考摄入量（DRI）是根据合成硒蛋白谷胱甘肽过氧化物酶所需的数量而制定的
β 胡萝卜素	900 微克/天	700 微克/天	12 微克 β 胡萝卜素能生成 1 微克视黄醇（维生素 A）。实际上，人体所需的是维生素 A，而非 β 胡萝卜素。但是，β 胡萝卜素并非仅仅用于生成维生素 A。除了能够作为新鲜水果蔬菜摄入量的重要生物标志外，它还具有重要的抗氧化特性

维生素 E 主要存在于植物油中，是一种脂溶性抗氧化维生素。早期的研究结果显示，维生素 E 可减少 ROS。尽管如此，近期的研究注意到，单纯补充维生素 E 可能导致抗氧化剂池失去平衡，进而降低人体对 ROS 的总抵抗力。解决这一问题的建议方案是，采用混合抗氧化剂取代单一抗氧化维生素。这样便可保证抗氧化剂之间易受损害的平衡不受破坏而保持完整，同时抗氧化剂水平也可得到提升，从而提高人体对 ROS 的抵抗力。

营养失衡还会造成免疫功能失调。维生素 E 摄入过量会对免疫系统产生负面影响，但是维生素 E、铁、硒、锌、钙和镁等营养物质缺乏同样会导致免疫问题[14]。所有信息都显示了保持营养平衡的重要性，因此，切忌为达到期望的生化效果而过度摄取一种或两种营养物质。

氧化代谢是一个持续过程，即使在以无氧代谢为主时也能够不断进行。刚完成 10 秒高强度冲刺（无氧运动）的运动员与刚完成 90 秒地面动作的体操运动员有部分共同之处，即需要呼吸大量空气（氧气）以补充下一组高强度训练所需。铁是将氧气输送到运动组织，并将二氧化碳从活动组织中排出的主要元素之一，对于运动员来说是一种关键的营养物质。然而，铁是最易缺乏的营养物质，而且由于运动员易患红细胞破裂症和血尿，因此比普通人群更易缺铁。其他营养物质也重要，维生素 B_{12} 和叶酸可确保健康的红细胞生成；β 胡萝卜素、硒、维生素 C 和维生素 E 等抗氧化营养物质可保证所有被带入系统的氧不受到损害。

氧对运动能力起着重要作用，无论身高、运动项目和年龄如何，所有运动员都应当定期进行血液监测，通过检测血红蛋白、血细胞压积和铁蛋白水平来检查其体内铁状况。只有掌握这些信息后，运动员才能知道他们是否应改变饮食，是否应额外摄入铁或其他补充剂，以确保氧不会成为影响运动能力的负面因素。

8 能源的限制和营养物质利用

在身体健康和正常的条件下，摄入的食物通过胃肠道（GI）进行消化（物理消化或化学消化）和吸收。吸收后，营养物质被组织和器官转化为正常呼吸和代谢过程所需的能量。然而，这是有条件的，当这一正常过程被疾病干扰时，或被摄入的吸收不良的营养物质阻碍时，可通过直接刺激胃肠道或对营养物质的化学隔离，使营养物质无法被吸收，从而破坏食物正常的消化吸收过程。还有一些物质可通过机体组织（通常为肝脏）影响营养物质的正常代谢过程，从而使摄入的食物潜在的代谢作用不能实现。另外，还有一种可能是，一种食物的摄入时间与另一种食物中营养物质的吸收时间发生冲突。本章将对我们如何很好地进食、消耗和使用能源物质进行探讨，其次，还将着重介绍能够帮助运动员从膳食中获得最高收益的策略。

影响食物摄入的因素

有几种因素能够影响食物摄入，进而影响个体的总营养摄入。这些因素包括食欲不振（可能是由于治疗隐匿性抑郁症而服用某种药物等情况引起），微量营养素缺乏或中毒（通过影响味觉灵敏度抑制食欲），节食（通过减少食物总消耗量以达到预期的减重效果）以及过度训练（很多运动员面临的主要问题）。

食欲不振 任何原因造成的食欲不振（厌食症）都会影响食物摄入，如果持续时间较长，则可导致营养不良。营养和非营养因素都能影响食欲。例如，亲人过世通常会导致食欲降低，而缺锌也会造成同样结果。由于高蛋白质、高脂肪和低碳水化合物的饮食方式等原因造成的碳水化合物摄入不足，可能引发一定程度的酮症，其症状为恶心和食欲不振。另外，服用某些药物也会造成味觉改变或食欲不振，而这两种情况都可能导致能量摄入降低（表 8.1）。甚至一些看似并不重要的因素也会减少食物摄入，如轻微牙痛，至少也会减少可摄取食物的种类，使机体无法达到最佳的营养和能量摄入。

表 8.1 可能导致食欲不振或改变味觉的药物

食欲不振	改变味觉
含可待因的泰诺林	安非他命
他莫西芬	氨必西林
秋水仙碱	苯坐卡因
氢氧化铝凝胶	安妥明
柳氮磺胺吡啶	灰黄霉素
	利多卡因
	碳酸锂
	D–青霉胺

Source: Mahan LK & Escott-Stump S. "Krause's Food, Nutrition, & Diet Therapy." 10th Edition, Philadelphia: W.B. Saunders Company © 2000, pg 401

微量营养素缺乏或中毒 微量营养素对食欲也有影响，所造成的问题难以说清楚。维生素缺乏如维生素 B_1 缺乏，可导致食欲不振。然而，由于是因该类物质缺乏导致的食欲不振，因此很难通过增加食物摄入来加以补充和恢复。表 8.2 中所列维生素和矿物质无论摄入量过多或过少都能导致食欲不振。

表 8.2 能够影响食欲的维生素

维生素	摄入不足	摄入过量
硫胺素（维生素 B_1）	食欲不振；精神抑郁	
核黄素（维生素 B_2）	舌溃疡；口腔溃疡	
烟酸	食欲不振；体虚	恶心；肝损伤
维生素 B_6	舌溃疡	
泛酸	食欲不振；恶心（极少缺乏）	
胆碱		恶心；胃肠不适
维生素 C	牙龈出血	
铜		恶心（极少出现中毒）
锌	食欲不振；味觉改变；味觉减弱	

普通节食 普通节食为有意识地限制食物摄入。有的节食方法通过限制所有食物摄入达到该目的，而另外一些节食方法则鼓励部分能量物质（通常是蛋白质和脂肪）的摄入，限制其他能量物质（通常是碳水化合物）的摄入。无论节食计划如何，大多数节食都会大幅度减少热量摄入，最终导致瘦体重和体能下降。突然大幅度减少热量摄入会减少去脂体重，从而导致代谢率降低。这种情况迫使人们持续减少进食，以适应频繁降低的代谢率。从某种意义上来讲，这种低热量饮食已变为低营养饮食，长此以往，存在营养摄入不足的潜在危险。

过度训练 过度训练会导致各种问题，包括失眠、患病频率增加和食欲不振。任何干扰食物摄入的因素都可能对营养状况和能量摄入产生严重影响，进而降低运动能力，并使运动员的患病风险增加。存在过度训练的运动员可能表现出以下症状：夜间失眠、持续疲劳、频繁患病、食欲不振、体重下降和情绪波动大。

影响营养物质消化和吸收的因素

任何一个影响营养物质消化和吸收的因素都可能导致消化不良或吸收不良，而这两种情况都将影响细胞所需营养物质供给。应当注意的是，胃肠道前端的器官问题（如口腔或食道）可能导致胃肠道之后器官的一系列问题。例如，食道炎引起的疼痛（频繁呕吐、摄入酒精或胃液返流造成的食道刺激）可妨碍正常的饮水模式，进而改变正常的排便习惯，导致结肠炎和脱水。患病的高发部位包括：

- 口腔 发炎、龋齿和口腔溃疡
- 食道 胃液返流或酒精引发的食管下段括约肌炎症
- 胃 酒精、压力或过度训练导致的胃炎
- 小肠 慢性腹泻、克罗恩病（Crohn's disease，局限性肠炎）或其他炎症（通常由酒精引起）导致的吸收不良
- 大肠 克罗恩病引发的炎症，伴随与水和电解质不平衡相关的肠梗阻

口腔疾病 影响口腔的任何疾病都可能对食物摄入产生影响。龋齿、唇疱疹、牙龈过敏和舌头肿胀都有可能限制食物摄入，进而限制营养物质和燃料进入所需组织。定期看牙医可解决大部分此类问题。尽管如此，B 族维生素的缺乏（尤其是维生素 B_2 和 B_6 的缺乏）会导致口腔和舌病变，妨碍食物摄入。

慢性腹泻 慢性腹泻是肠道对谷蛋白（存在于小麦、大麦、黑麦和燕麦中）的强烈过敏反应。该病会引发疱疹样皮炎，在谷蛋白诱发胃肠道损伤的病例中，70%~80% 的病例伴有此并发症[1]。慢性腹泻有很强的遗传性，亲属中有此病的人也存在患病的可能[2]。慢性腹泻如未及早治疗可导致肠损伤，引发吸收不良，并可导致痢疾、脂肪痢（脂肪吸收不良）、缺铁性贫血以及其他维生素缺乏症，最终引起体重下降[3]。该病的潜伏期可达数年之久，病发前除牛奶过敏或缺铁等细小症状外并无其他异常反应。近期研究结果显示，世界各地均有慢性腹泻病例，其发病率远远高于过去的预估值。例

如，缺铁性贫血的确诊病例中10%~15%的病患伴有慢性腹泻[4]。

患者如有吸收不良、频繁腹泻、缺铁或其他任何与慢性腹泻有关的胃肠道功能障碍，应考虑其是否有谷蛋白过敏的可能。该类患者中一部分人在采用阿特金斯食谱（限制面包类食品摄入的高蛋白质、低碳水化合物食谱）后，可能会感觉病情有所好转，其原因在于该食谱限制了谷蛋白摄入，而并非具有其他特殊功效。希望得到确诊的慢性腹泻患者，可以进行小肠组织活检等临床检验，以确认病情。慢性腹泻患者开始禁食含谷蛋白食品时，可能会因该食物摄入受到限制而苦恼，但是，谷蛋白摄入限制能够使其肠道功能得到改善，从而使其可以安心食用之前可能导致胃肠疾病的其他食物。实际上，所有腹腔疾病患者自行实施无谷蛋白饮食，限制含谷蛋白食品摄入后，均感觉病情大有好转[5]。另外，市面上主要由大米或玉米制成的无谷蛋白面包，是小麦及黑麦面包的最佳替代品。表8.3列举了高谷蛋白含量食品与无谷蛋白食品。希望获得更多信息的读者，可在线查阅有关无谷蛋白食物及食谱的信息资源。

表8.3 含谷蛋白食品与无谷蛋白食品

含谷蛋白	不含谷蛋白
• 小麦（全麦面粉、全麦和小麦粉，麦麸）	• 竹芋
• 大麦	• 荞麦
• 黑麦（黑麦粉）	• 玉米
• 除特别说明为无麸质的食品外，所有由小麦、黑麦、粗麦粉和大麦制成的食品，包括大麦饮料、麦芽饮料和啤酒、生面团、面条、糕点、馅饼、薄饼以及蛋糕	• 马铃薯粉
	• 大米、米糠、米粉
	• 木薯粉
	• 大豆、大豆麸、大豆粉、大豆产品
• 含小麦和谷蛋白的调味汁及汤	• 鸡蛋、牛奶、奶油、黄油、乳酪、凝乳酪
• 含小麦的燕麦谷类食品	• 茶，咖啡
• 裹面包粉食品，如炸鸡	• 可可
	• 大多数酒精饮料
	• 所有水果和蔬菜
	• 鱼类（部分烘制及含谷蛋白酱汁的豆类产品除外）
	• 果酱
	• 糖、蜂蜜
	• 盐、胡椒粉、醋、药草和香料

注：小麦产品经常用做食品加工的填充剂或增稠剂，而大多消费者可能并未意识到这种情况。养成查看食品配料表的习惯，可杜绝含有小麦、大麦及黑麦（或其他衍生物）类食品，是进行无谷蛋白饮食的保障。

Reprinted from "Drugs that may result in the loss of appetite or an altered taste perception," Mahan et al., *Krause's Food, Nutrition and Diet Therapy*, p. 401, © 2000, with permission from Elsevier.

克罗恩病（局限性肠炎）克罗恩病为回肠局部炎症，但可能影响整个小肠或大肠功能。该病会引发腹痛和频繁的腹泻，而肠梗阻更是克罗恩病患者面临的另一个严重问题[6]。该病为炎性肠病（IBD）的一种表现形式，可导致肠壁增厚，使肠道受感染部分的内部输送直径缩小，从而引发肠梗阻。克罗恩病对男性和女性具有相同影响，尽管具有一定的家族遗传性，但仅有约20%的患者有家族病史。该病的病因尚未明确，但是理论上认为是由免疫系统抵抗细菌或病毒引发炎症。可以明确的是，克罗恩病与压力无关，这一点与其他肠道功能紊乱有所不同。

克罗恩病会减弱运动员吸收营养物质的能力，而并发的腹泻会影响体液和电解质平衡。回肠（克罗恩病主要影响的区域）是吸收维生素 B_{12} 的部位。如果人体无法正常吸收维生素 B_{12}，将会导致巨幼红细胞性贫血和低色素性贫血，对携氧能力造成不良影响。

患有克罗恩病的运动员通常采用非甾体类抗炎药（通常含有 5-氨基水杨酸；柳氮磺胺吡啶为该类药物中最常见的一种）进行治疗，同时采用辅助治疗手段以达到治愈营养物质缺乏并减轻疼痛及腹泻的目的[7]。补充液体和电解质的治疗手段通常用于频繁腹泻的病患。一些药物也能通过抑制免疫反应来减少炎症的发生。胃肠道炎症可能要求患者禁食固体食物，从而减轻炎症并降低肠梗阻的几率。治疗期间通常采用流质的全营养餐。能导致克罗恩病胃肠道炎症加重的食物尚未有确切定论，但医生通常会要求患者限制食用大部分人不能良好吸收的食物，或众所周知的刺激性食物（如牛奶、酒精、辛辣食物）[8]。出现维生素 B_{12} 缺乏时，通过食用口服维生素补充剂或富含维生素 B_{12} 的食物（来源于动物的食物），是无法解决问题的。由于维生素 B_{12} 的吸收已完全遭到破坏，因此无论摄入多少，维生素 B_{12} 都无法进入血液。这种情况通常需要阶段性注射维生素 B_{12}，使其通过血液循环，经胃肠道治愈维生素 B_{12} 缺乏症。

药物　某些药物同样会影响营养物质的消化和吸收。抗生素可破坏参与某些营养物质（如维生素 B_{12}）生成和协助消化吸收过程的肠道菌群。例如，常用处方药新霉素（抗生素）可导致脂肪、蛋白质、钠、钾和钙的吸收障碍[9]。正常情况下，二价矿物质（钙、铁、镁和锌）之间会产生竞争吸收。如大量摄入含钙的抗酸药，钙将占据大部分的吸收位置，并干扰其他矿物质的吸收[10]。非甾体类抗炎药为运动员常用口服药，用于消肿、化瘀和缓解运动伤害造成的疼痛。该类药物具有胃肠道刺激的副作用，可导致失血和缺铁性贫血[11]。通过以上几个实例便可看出，药物是如何影响人体的能量摄入和利用。实际上，所有口服药物（包括非处方药）都会对消化、吸收或代谢产生或多或少的影响，进而降低体能，所以运动员应对此保持高度警惕。当身体发生不适时，运动员应咨询适当的医疗保健专业人员，切勿自行诊断和自行用药。

影响能量代谢的因素

营养物质在摄入、消化和吸收后，还必须输送到相应的组织进行代谢。妨碍营养物质正常代谢的因素有很多，其中包括营养物质之间的相互作用、药物与营养物质的相互作用以及过量酒精摄入等。在这些因素中，经常性的酒精摄入可能是运动员面临的最大问题。

酒精　尽管每克酒精能够提供 7 千卡热量，但必须将其视为抗营养物质，原因是，过量摄入酒精会抑制维生素的正常代谢，从而抑制主要能量物质（碳水化合物、蛋白质和脂肪）的正常代谢。首先需要搞清的是，酒精并不是一种必需的营养物质，

而是一种有毒物质，人体在一定范围内可对其毒性自行解毒，但在解毒过程中将激活其他有毒物质。

经常大量摄入酒精会增加患病的风险，包括肝癌、口腔癌、喉癌、食道癌（如果患者同时还吸烟的话，更容易发生后三种癌症）和肝硬化（肝脏逐步纤维化，无法发挥正常功能）。另外，酒精对整个胃肠道具有刺激性，可导致营养物质吸收不良。更糟糕的是，酒精还会增加尿液中钙和镁的排泄。镁是磷酸基团转移酶的辅助因子，是能量代谢过程中必不可少的成分。经常摄入酒精会降低镁的再吸收（增加尿液流失），并增加镁在汗液中的排泄，其结果将造成肌肉痉挛、虚弱和心律不齐等病症的增加。频繁的酒精摄入会导致镁缺乏，从而给运动员带来无法估计的损失[12]。

酒精可导致肝功能受损，妨碍营养物质的代谢和储备。总之，酒精摄入将增加机体对营养物质的需求，以修复酒精所造成的损害并补偿其造成的吸收不良。长期酗酒会引发心脏衰弱，大脑和神经功能紊乱，血脂增加（特别是甘油三酯），脂肪肝和肝硬化，胰腺炎（严重影响血糖控制和消化过程）。酒精摄入除了增加运动伤害风险外，还有充分证据证明，每日饮酒超过一次，可对反应时、身体协调能力及能量代谢造成负面影响，从而降低运动员的体能[13]。

乙醇脱氢酶是肝脏产生的一种酶，用于活性型维生素 A 的（视黄醇，一种醇）脱氢。但是，随着酒精（乙醇）的摄入，有限的乙醇脱氢酶被用于乙醇脱氢，因此有潜在毒性形式的维生素 A 将以乙醇的形式存留。结果使酒精和维生素 A 之间产生不良的交互作用，可能导致肝中毒并增加肝癌的风险[14]。

运动员中确实存在由酒精摄入引发的健康风险。尽管优秀运动员的酒精摄取量仅为同年龄非运动员人群的一半，但是，仍有大量运动员（特别是团体项目运动员），远远高于保证良好健康、良好营养及最佳体能的酒精摄取量水平[15]。非精英青少年运动员与非运动员同龄人相比更易酗酒[16]。同时，男运动员亦比女运动员更易于养成日常饮酒的习惯[17]。表 8.4 列举了酒精对运动能力的主要影响。

表 8.4 酒精对运动能力的影响总结

影响	结果
1. 增加低血糖的风险	由于酒精抑制了肝脏糖原异生，因此在长时间运动中更易发生低血糖
2. 增加热量丧失	低血糖导致体温调节功能损伤，在较冷的环境下尤为严重
3. 降低中长跑的体能	随着酒精摄入增加，在中长距离赛事中，可出现明显体能丧失
4. 降低纵跳高度	纵跳高度将减少 6%，在 80 米的短跑能力将降低 10%
5. 对注意力产生不良影响	影响中枢神经系统
6. 对视觉产生不良影响	影响中枢神经系统
7. 对反应时产生不良影响	影响中枢神经系统
8. 对协调能力产生不良影响	影响中枢神经系统
9. 增加脱水风险	酒精可产生利尿作用
10. 运动后糖原恢复能力差	酒精损坏了肝脏的碳水化合物状态，并可能削弱肌糖原存储
11. 运动后恢复能力差	酒精破坏了受伤组织的修复能力

Reprinted, by permission, from L.M. Burke and R.J. Maughan, 2000, Alcohol in sport. In *Nutrition in sport*, edited by R.J. Maughan (London, England: Blackwell Science), 405-414.

营养物质 营养物质的摄入和利用对能量代谢有明显的影响。图 8.1 中任意一种营养物质的缺乏，都会破坏能源物质利用的正常代谢路径，进而影响运动能力。尽管药物或酒精摄入会导致营养物质摄入不足、消化不良、吸收不良以及代谢异常等，会有一些潜在危害，所幸的是，大多数人能够在需要时为机体组织提供必要的营养物质。然而，摄入不足、重度酗酒或未及时治疗的疾病所导致的慢性炎症或损伤，将最终对运动能力产生负面影响，这一点运动员及教练们应时刻牢记。

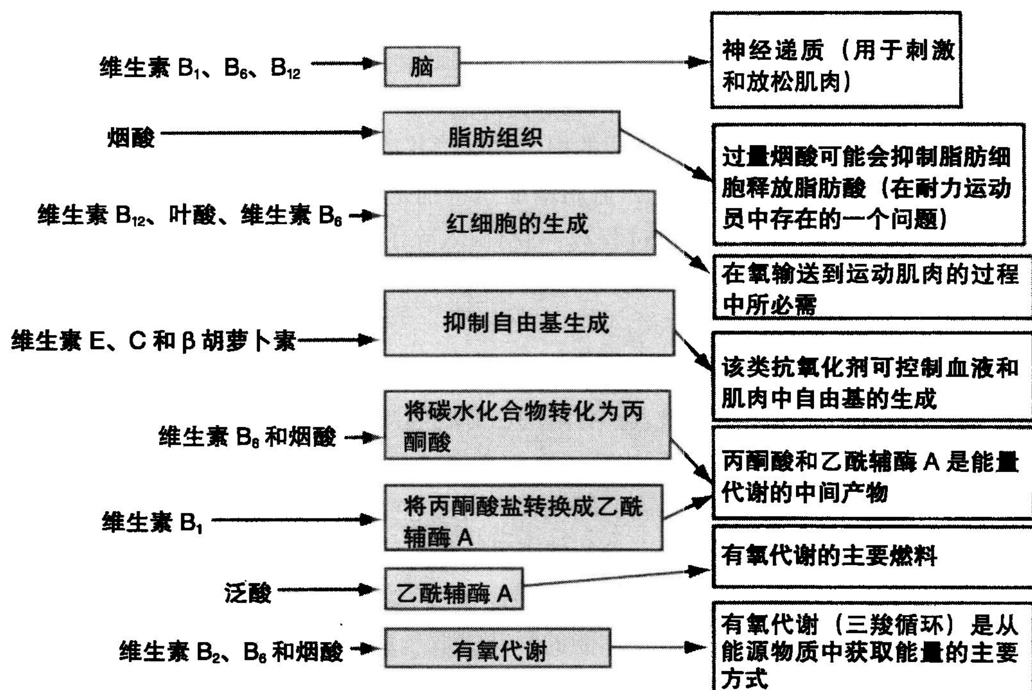


图 8.1 与能量代谢相关的维生素

体力活动能够增加能量需求以及与能量利用相关的代谢需求。任何因素一旦妨碍机体为细胞提供充足能量，或者改变为细胞提供能量的适当的代谢能力，都将对运动能力产生不良影响。其中部分因素在运动员的可控制范围之内，如适量饮食，谨慎使用药物和补充剂，避免经常摄入酒精。而其他因素则无法掌握，如，可能会影响食物摄入或消化的疾病。本书着重阐述，如何为竞技体育的成功提供最佳的能量保证。越来越多的医疗方案可以用于应对运动员们无法直接控制的情况（如腹腔疾病、克罗恩病以及其他胃肠道功能紊乱），因此，运动员应随时进行医疗咨询，以降低这些情况对健康和运动能力的影响。简而言之，如果能量物质无法到达具有燃烧能力的细胞，那么，竞技的努力也就无法获得成功。

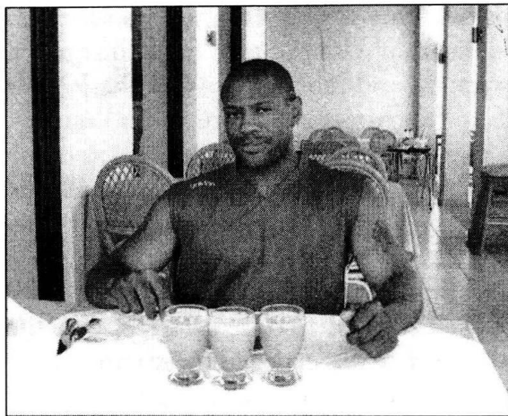
第3篇

影响营养需要的因素

9 旅行

无论是旅游，还是外出参赛，敬业的运动员都应尽量保持有规律的训练和饮食习惯。无论身在何处，运动员都应遵循一定原则，以便快速适应新环境，降低饮食不适应所带来的营养不足，调整昼夜节奏以适应时差。尽管相关研究报道十分有限，但运动员仍可以采纳一些经过实践检验有效的方法，避免因时差、水土不服、饮食不洁引起腹泻等因素导致的体能问题。本章节将重点关注如何有效降低旅行对机能状态造成的负面影响。

专业运动员经常要离家外出参赛，因此常常要面对陌生的食物。无论旅途远近，提前计划对于确保运动员达到最佳比赛状态十分必要。遗憾的是，很少有运动员和教练员会采取必要措施，尽量减小远途旅行对心理和生理的负面影响。这可能是，很多运动员和教练员认为，主场优势包括很多不可变更的因素，与对场地的熟悉程度和官方偏袒相比，旅行的影响是微不足道的[1]。而其他人则认为，主场优势应包括没有旅行的影响，尤其是当集体或个人项目的运动员在缺乏充分适应时间、横跨多个时区参赛时，主场的优势会显得尤为突出[2]。



像 Maurice Green 这些奥运会选手常常前往不同的国家参赛，保持他们饮食一致是确保其良好体能的关键。

制订何时进餐、选择何种食物的膳食计划，在主场比赛时十分关键，外出参赛时亦同等重要。运动员跨时区参赛时的最大失误或许是，认为主办方会为他们准备好所需的饮食。如果一个运动员不能作好个人的训练和饮食计划，别人更不能为他做到，因此运动员不应该抱有这样的假设。当然，如果运动员缺乏营养常识时，正确的膳食选择便无从谈起。在陌生环境中面对陌生饮食时更是如此。能保证运动员最佳体能状态的单一食物是不存在的，运动员必须对最佳饮食所具备的基本要素有所了解。

食物与适应能力是两大重要因素。适应新环境的时差时，需要一定的时间以调整昼夜节奏，因此前往外地参赛时，要给运动员留出充足的时间适应。运动员原有正常生理节奏的失调，会导致身体不适、食欲不振、疲劳以及睡眠不佳，从而影响比赛状态[3]。这些不良反应出现的严重程度主要取决于横跨的时区数量、飞行方向、运动员年龄，以及出发前运动员为避免正常生活节奏被扰乱所采取的主要措施[1-4]。即便是仅仅跨越两个时区的短距离飞行也会对集体项目运动员的状态产生负面影响[5]。因此，建议运动员在可能的情况下尽早抵达比赛地点，在比赛开始前将昼夜节奏调整至正常状态[6]。由于每个运动员的适应能力不同，在制订适应性计划时要尽可能考虑个体差异性[7]。通过对美国女子足球队到台湾、北美学生到西欧旅行，以及欧洲学生到北美旅行的时差反应进行评估，各项研究结果表明：被研究对象的心理状态、无氧功和无氧代谢能力以及力量在跨时区后均受到负面影响，且消除旅行对上述指标所造成的影响需要 3~4 天[8]。

一些运动员认为按摩或脊柱推拿疗法是快速适应的关键措施之一，然而能够证明此方法有效的研究证据寥寥无几。在一项芬兰优秀青年运动员旅行后进行脊柱推拿疗法是否可降低时差反应的研究中，研究人员观察了受试者睡眠类型和心理状态（通过心理状态曲线图），发现脊柱推拿疗法对于消除时差反应没有效果[9]。

当比赛地点温度和湿度高于一般训练环境时，环境适应能力对于运动员尤为重要。人体需要 7~14 天适应高温环境。热环境下适应时间不足将显著影响比赛状态[1]。提前计划以保证最佳饮食以及充足的适应时间，是运动员达到最佳状态的关键。

旅行还会提高感染疾病的几率。运动员在旅途中可能会接触的陌生病原体（即体内无抵抗系统的病原体）、睡眠不足、精神压力加大、疲劳积累都可能会增加感染的几率。提前制订旅行前后以及旅途中的休息饮食计划是保持运动员健康、降低患病风险，以免影响状态的重要措施[10]。保持个人卫生和勤洗手，可降低疾病感染的风险。经常异地参赛的运动员应养成这些习惯，将其作为保持健康的常规措施[11]。

旅途中的饮食准则

大多数准则都需要提前计划。就好像运动员在出发前收拾行李一样，运动员也应考虑何时何地采用何种方法可以获得适当的饮食以保证需求。运动员在旅途中最糟的情况可能是，在饥饿或口渴时不能及时得到食物或饮料。为了避免此类情况的发生，请在旅途中饮食方面遵循以下注意事项[12]：

- 准备一些零食。新鲜水果、果汁、饼干、低脂米饭、意大利面、沙拉和低脂能量棒均为营养、便携的食品（表 9.1）。
- 注意食物的脂肪含量。奶油浓汤、起酥面包、蛋黄酱沙拉、三明治中的酱汁等会在食物中添加一些不必要的脂肪。但是，可采用其他食品替代。用肉汁清汤替代奶油浓汤可以提供等量营养但脂肪含量更低。用柠檬汁取代蛋黄酱作为沙拉酱，脂肪含量更低，这样运动员就可食用更多的沙拉。
- 选择烧烤、烘焙、炖煮方式烹饪的食物，避免油炸或油煎类食物。食物的烹制方法必须要依照自己的需求，而非依照菜单。如有可能，可要求提供低脂乳制品以及低脂沙拉调料。
- 按照菜单逐道点菜以获得自己确实需要的食物。专业运动员不宜进食过饱。例如烤鱼可能正是你想要的食物，但一份正餐中可能还包括肉汁土豆泥、焗花椰菜、苹果派和冰激凌苹果派。专业运动员最好选择素烤土豆、柠檬汁拌花椰菜配烤鱼，将新鲜水果作为餐后甜点。
- 乘飞机旅行前，告知旅行社希望吃到蔬菜，这样得到高碳水化合物低脂食品的几率较大。不过，如果要告知航空公司你的特殊饮食需求，至少应在航班起飞前24 小时通知。
- 乘飞机旅行时，随身携带一些可在飞机上饮用的饮料。乘机是人体出现脱水的常见原因之一，加之从飞机起飞至得到你的第一杯饮料的间隔时间较长。因此乘客常常会染上咽喉疼痛及其他上呼吸道疾病。作为预防措施，乘机时应多喝水以保持口腔和咽喉湿润，建议选择瓶装水或运动饮料。
- 如果你在经历时区更替，应当尽快适应当地时间。建议按照当地时间而非原居住地时间进餐。由于旅行和时区的改变会让你感到疲惫和不适，要使你的饮食方式适应当地生活节奏会存在一定困难。尽早抵达比赛地点以确保你已完全准备好参赛。

表 9.1 运动员旅行途中推荐携带的零食

食物	能量物质比例（近似值）①		
	碳水化合物（%）	蛋白质（%）	脂肪（%）
硬面包圈	76	14	10
面包条	76	13	11
早餐麦片，无糖的（如保健麦片）	70	15	15
乳酪②	7	37	56
小甜饼（如燕麦片）	65	4	31
饼干（如咸饼干或全麦饼干）	66	8	26
蔬菜碎（如胡萝卜和芹菜）	94	4	2
干果（如杏干）	93	6	11
能量棒、早餐棒，麦片条	91	4	5
新鲜水果（如苹果、橘子和葡萄）	75	10	15
果汁（如苹果汁、葡萄汁和橙汁）	99	0	1
椒盐脆饼干	78	10	12
运动饮料	100	0	0
什锦杂果（包括坚果、干果以及巧克力果仁豆）	43	11	46
水果酸奶②	75	17	8

注：① 能量物质含量，根据食品的品牌和类型有所不同。
② 可能需要冷藏。

时差反应最小化

长途旅行后保证充足的调整时间十分重要。即便是经验丰富的旅行者也会受到时差的困扰。当他们抵达目的地时，并不需要进行跑、跳、击打、踢、掷或游泳等运动。时差反应可能会使人产生类似生病的感觉，食欲不振，睡眠失调。时差反应通常有两种表现形式：（1）连续的短途旅行，导致正常饮食发生多次微小变化[13]；（2）跨越多个时区的长途旅行，导致饮食和睡眠行为发生显著改变。当运动员感觉饥饿时应马上进食，随身的零食可作为正餐之间的能量补充。以下的建议可缓解时差反应[3]。

1. 针对连续的短途旅行

- 抵达一个地点后按照当地的时间进餐。这有助于快速适应当地生活节奏以适应新的时区。
- 补充足够的水分。机舱内十分干燥，脱水会引起一系列身体不适，包括头疼和轻度便秘。
- 飞行前适当多吃一些。旅行的压力可能会导致蛋白质的需求量轻微增加，在飞行后建议选择高蛋白的早餐和低蛋白高碳水化合物的晚餐。

- 飞行结束前避免摄入咖啡因。咖啡因是利尿剂，会使已处于脱水环境中的机体丢失更多的水分。建议摄入能帮助保持良好水合状态的液体（水、运动饮料、果汁）。
- 飞行中和飞行后避免摄入酒精。酒精不仅对代谢有负面影响，还是利尿剂。无论何时，运动员都不应该饮用酒精饮料。
- 在飞行后参加社交活动或进行训练，将有助于更快适应当地生活节奏，降低旅行所带来的压力。

2. 跨越多个时区的长途旅行

- 每跨越一个时区，至少提前一天到达目的地。跨越超过 6 个小时的时区时，至少需要 4 天才能恢复到正常的昼夜节奏，并感觉良好（最好是 7 天）。受到经费和行程安排的限制，运动员可能无法那么早到达比赛地，抵达后应尽快适应当地生活节奏，但保证充足的休息更为重要。
- 抵达目的地后进行训练和参加社交活动，有助于快速熟悉新环境，降低旅行带来的压力，更好地适应当地的生活节奏。
- 抵达目的地后保持规律的作息时间和进餐时间。如果能快速适应当地的作息和就餐时间，那么身体也能很快恢复到良好的状态。规律的有计划的饮食和作息是保持旅行中良好状态的关键所在。
- 旅行前后及旅行中实行少食多餐的饮食方式。在异地可能不了解在何处能购买到高碳水化合物食品，制订进食计划有难度。然而保持规律的进食计划（大约每隔 3 个小时进食一次），对于帮助你适应新环境是一条非常重要的策略。出发时随身携带一些零食，一旦抵达目的地，尽可能找到购买地点。无论如何都不得摄入酒精。
- 摄入比平常更多的蛋白质。旅行带来的压力可能会少量增加机体对蛋白质的需要量，因此每天应少量增加蛋白质的摄入量。例如，进食高蛋白质早餐（在你一般正常饮食的基础上增加一个煮鸡蛋）即可满足你的蛋白质需求量。不过依然要保证你的饮食以碳水化合物为主。

旅行目的地

在美国、加拿大以及西欧各国旅行，会有很多极为相似的食物。比如说，几乎每家杂货店都能找到早餐麦片，无论走到哪里都能买到新鲜的面包。然而很多食物的制作方式并不一样。如果习惯在早餐时喝上一杯咖啡，那么你可能会惊奇（甚至震惊）地发现，由于受不同文化的影响，各地加工咖啡豆的工艺也各具特色。

上述信息表明，运动员应尽其所能保持规律的饮食和睡眠习惯，因为正常生活方式的实施和安排一旦发生突然改变，其结果将无法预料。配有适用于当地插头的电热杯是

一种非常实用的小电器，方便随身携带，有了它，运动员便能随时喝到自己喜欢的汤水，并可随意调制自己中意的咖啡。对于要旅行的运动员来说，这实在是一项再好不过的发明了。

一些国家在饮用水或食品方面存在大量不安全隐患。如果你对饮用水或食品的安全性有任何疑虑，请致电最近的领事馆或旅行社进行咨询，他们的工作人员可提供你所需要的信息。此外，你还可以挑选一本详尽的旅游指南，好的旅游指南会对当地餐饮及水源情况进行详细说明。

境外旅行时，即便目的地能够提供安全熟悉的食品和饮用水，也应随身携带以下物品（可根据停留时间长短来调整物品数量）：

- 适用于当地的电源插头和转换器
- 电热杯 1 个
- 水过滤器专用泵 1 台
- 苏打饼干 1 盒
- 可冲泡 20 升饮料的固体运动饮料 1 包
- 2 升瓶装水
- 中等包装葡萄干 1 盒（或其他个人喜爱的干果）
- 独立包装的低脂格兰诺拉燕麦卷 5 包
- 脱脂奶粉 2 包
- 自己喜欢的麦片 1 小盒

关于水供应　无论到何地旅行，无论是这样还是那样理由，运动员都需要饮用水。即便能保证饮用水绝对安全，水质不同还是会引起胃肠道不适。例如饮用水中溴化物或氟化物含量不同，也可能导致严重的肠道疼痛。在条件允许的情况下，饮用瓶装水或瓶装运动饮料是一个很好的解决办法。当瓶装饮料的供应不能保证时，就必须另寻解决方法。旅行时携带大量瓶装水是不现实的，但运动员可携带固体运动饮料和净化水的过滤器。最好的水过滤器具备杀灭微小的寄生物和细菌的功能，可在当地户外用品商店购置。水过滤器对于即将出行的运动员十分实用，占用的空间小，工作效率高，让你有精力去处理其他更为重要的事情。

进食地点　在旅行时运动员可能无法按照自己希望的时间和地点进餐，这是不可避免的，因此在进入餐厅前要制订好计划。如果事先没有想好要选择的食物，当看到种类繁多的食品和菜单时，你很容易受到影响。机场里随处都是快餐店，店内出售的多为高脂高糖食品，在这些地方很难选择到合适的餐食。通常运动员应选择非煎炸类食物，尽量选择低脂高碳水化合物的食物。例如，选择两个普通汉堡而不是一个双层牛肉饼汉堡，这样可以获得双份的面包（即碳水化合物）。

在餐厅中尽量选择通心粉、烤土豆、面包、蔬菜和沙拉。有时可能需要更换套餐中的某种食物（例如用烤土豆替代炸薯条），不要害怕提出要求。机场或港口的餐厅可能并不情愿满足你的特殊要求，因为他们知道你可能不会再度光临。但对于运动员而言，要求得到适合他们需要的食物始终是非常重要的。即便点烤土豆时，也应要求将所有的

配菜置于土豆边上而不是土豆上。看菜单时应关注的关键词参见表 9.2。

表 9.2 仔细检索菜单选择餐食

饭菜类别	应避免的食物	推荐食物
一般	煎炸、香脆、裹面包屑、龙虾、奶油、黄油、裹面包屑焦层、肉汁类食物	番茄酱、蒸、煮、烤、番茄汁、原汁、清蒸、炭烧类食物
墨西哥式	香炸扇贝、香炸墨西哥薄饼、墨西哥豆泥、炸玉米片、酸奶油、鳄梨沙拉	低脂墨西哥豆泥、鸡肉或瘦牛肉墨西哥卷、烤制软玉米饼、沙司、米饭、烤墨西哥薄饼
意大利式	奶油沙司、高脂调料、丰盛甜点心	配有沙拉的番茄酱奶酪比萨或蔬菜比萨、低脂意大利冰品、低脂冻酸奶
中式	油炸春卷、油炸馄饨、糖醋里脊、天麸罗（日本菜中的炸蔬菜和炸虾）	爆炒类和蒸煮类菜品、鸡肉和蔬菜类盖饭、清淡肉汤
汉堡包店	自助沙拉的高脂沙拉酱、蛋黄酱、炸薯条、奶昔	自助沙拉的低脂沙拉酱、烤土豆、扒类食物
咖啡厅	烹制时已加入黄油的食物，限制咖啡因摄入量	薄煎饼、土司、硬面包圈、奶蛋饼、水果、果汁、全麦麦片、面包、松饼

Adapted, by permission, from E.R. Burke and J.R. Berning, 1996, *Training nutrition: The diet and nutrition guide for peak performance* (Carmel, IN: I.L. Cooper), 134.

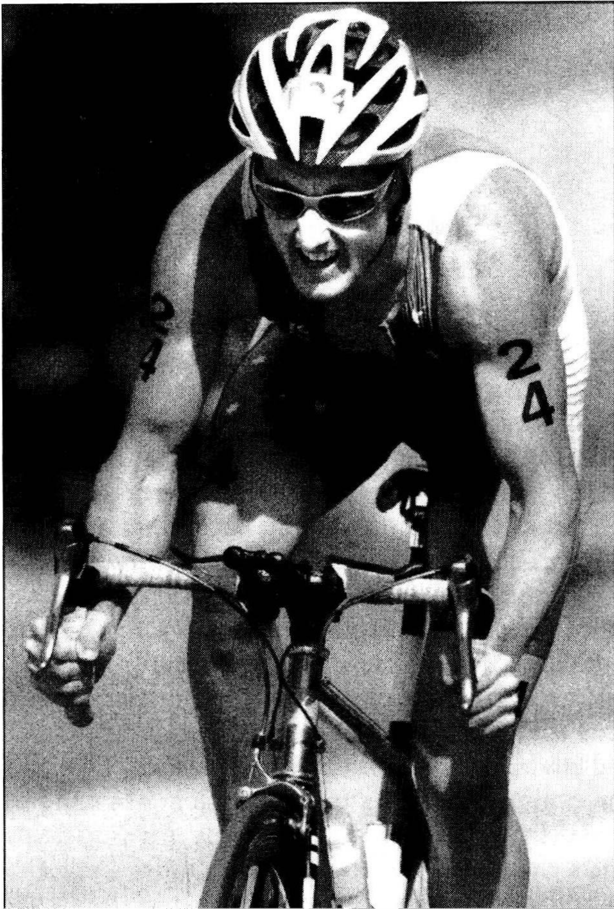
提前制订计划是旅行成功的关键。最好不要臆断会有可以满足你需求的食物和饮料。旅行时，应随身携带数量有限的、能够确保你保持愉快和营养滋补的关键食物和饮料。运动员比赛结束前不尝试新的食品，赛后可根据主办方的推荐品尝。仅凭个人经验行事十分危险，可通过书店、图书馆或网络，尽可能地了解旅行目的地的相关信息，旅行社或邻近的领事办事处也是获得这些信息的最好来源。留出充足的时间以适应当地环境，每跨过一个时区，需要一天左右的时间适应，因此，如果从纽约到巴黎参赛，你至少需要在赛前 6 天抵达。如果做不到，应尽可能地通过充足的休息、朋友聚会放松等方式降低压力，尽快适应当地的生活节奏。

10 高海拔

无论对于登山者还是科考人员，在高海拔地区从事体力工作极具挑战。高海拔地区通常极度寒冷、地形严峻，进行体力活动时，人体处于持续的紧张状态。从低海拔地区快速进入到高海拔地区（常见于世居平原的运动员为了提高携氧能力在高原训练），可能会引起头痛和恶心，这两者可以对进食和饮水产生负面影响。高海拔地区的氧气含量偏低使人易疲劳，进食和饮水困难通常会造成部分组织丢失，从而使御寒能力降低。与高温高湿环境一样，在极度寒冷的环境下保持机体体液平衡极为困难，其原因是为了避免脱水而摄入大量的液体会引起排尿量增加和自动脱水。防止饮用水冻结是一种挑战，相对于低海拔地区而言，高海拔地区烹饪时需要的时间更长（因此需要运送更多的燃料）。在高海拔地区进行体力活动所面临的挑战十分艰巨。但不论是在 3 天内攀爬海拔 14400 英尺（4390 米）的雷尼尔山，还是持续一周穿越海拔高度 19340 英尺（5890 米）的乞力马扎罗山，营养措施均可帮助人们在这种环境下达到目标。本章节将对极度寒冷的高海拔地区工作时，人体经受的生理和营养压力进行讨论，并提出有效应对这一环境的措施。

高原训练

海拔较高的地方氧气含量相对较低，因此在所进行的有氧训练（耐力为主）训练计划和机能状态达到平原的水平之前，运动员要经历一个适应过程。为了适应高原低氧环境引起的高原病对训练的影响，即便是进行无氧训练，适应也必不可少。由于随着海拔高度的升高，氧气浓度逐渐降低，逐级增加海拔高度能获得更为有效且健康的适应效果。



自行车运动员为了从低氧适应中受益而经常进行高原训练。

运动员在高原地区训练时呼吸加速、心跳加快，是对每次呼吸吸入肺中的氧气含量降低的适应性反应。只有红细胞浓度增加能缓解此生理反应。在呼吸频率和心率恢复正常前，此适应过程可能需要数天、数周甚至数月。必须推荐一些与红细胞成功生成相关的营养因素，包括摄入充足的能量、提高红细胞浓度的铁、叶酸和维生素 B_{12}。健康膳食可满足其中大部分需求，但仍需注意每天要摄入约 18 毫克铁。这一要求看似简单但不易达到。因为运动员在高原地区经常抱怨食欲不佳。表 10.1 对不同海拔高度进行了区分。

寒冷环境会通过热对流和热传导引起热量流失，但人体有相应系统帮助维持身体核心体温，并提高发热量 [1]。这一温度调节机制使人暴露在低温环境时得

表 10.1 海拔高度通用定义

高海拔	1500~2500 米（5000~8200 英尺）
非常高海拔	2500~5500 米（8200~18000 英尺）
极高海拔	5500 米以上（18000 英尺以上）

以生存。暴露在寒冷环境下时，身体通过末梢血管收缩以降低热量损失。然而，流向皮肤及肢体末端的血流量减少易引发冻伤，尤其是手指和脚趾。当人体在低温环境中暴露约10分钟后，为了避免这一危险的发生，机体会启动“冷诱导血管舒张”（CIVD）这一应激过程。末梢血管收缩和舒张的脉冲调节可保持核心体温，但要以皮肤和末梢组织的温度波动为代价[1]。

人体主要依靠肌肉运动产生热量。运动肌所用能量中有30%~40%用于肌肉运动，而其余60%~70%以热量的形式散失。简而言之，作为温血动物，我们的产热效率要高于运动效率。我们还可通过寒战来产生热量，这是一种当体温下降3~4℃时所激发的本能的中枢神经系统诱发机制[2, 3]。寒战所产生的肌肉收缩可使总能量消耗增加2.5倍，其中大部分来源于碳水化合物氧化的增加[4]。由于血浆儿茶酚胺的升高，冷应激还会提高肌肉中糖原的利用[5]。

因此，对于在易出现冷应激和寒战的环境下训练的运动员来说，摄入足量的碳水化合物十分重要[6]。出现不同程度肌肉含量下降的老年人，在寒冷环境下的反应更严重，其主要原因在于，肌肉含量的减少会降低可从运动或寒战中获得热量的能力[7]。因此，老年人如果不能进行有规律的锻炼以维持其肌肉含量，则不能主动降低体温过低的危险。

暴露在低温环境中易发生明显脱水。处于低温环境中的士兵通常会因脱水丢失8%的体重[8]。导致脱水的原因包括：难以获得足够的饮用水，水分丢失过多（尤其是穿着厚重衣物或携带较重装备时），呼吸中的水分丢失以及寒冷引起的多尿（CID）。

由于在缺氧环境中工作，高原地区工作本身就可以带来营养风险。很多经验丰富的滑雪运动员和登山运动员都知道在高原地区可能出现恶心、眩晕、易疲劳等现象。适应这样的低氧环境需要一定的时间，主要途径为提高向参与工作机体组织运送氧气的能力。高原环境会提高机体的氧化应激，因此对营养需求有所改变，需要摄入更多的抗氧化剂[9]。估计大部分人进入高原地区10天后适应程度可达80%，45天后可达90%[10]。到达更高海拔地区时，人体会出现一些正常变化，与已适应该海拔高度的人相比呼吸频率加快、呼吸短促、排尿频繁以及睡眠规律改变。高原地区的低气压使人体每次呼吸中氧气含量降低，不得不采用呼吸频率加快的模式，以获得正常呼吸时相同的氧气含量。然而，呼吸频率再快，在高原地区也不可能获得与平原地区同等水平的氧气含量。因此在高原地区进行体力工作始终较为困难，更容易出现疲劳。由于未能适应高原环境而引发的身体异常通常被称为高原反应，并可能引发其他症状[11]：

- 头痛
- 呕吐
- 厌食
- 不适
- 恶心

增加高原反应患病风险的因素包括：

- 攀升过快
- 高脂高蛋白低碳水化合物膳食
- 长期滞留高海拔地区
- 海拔过高
- 重体力活动

一种相对的机体紊乱，急性高山病（AMS）通常发生在海拔超过6600英尺（2000米）的地区，其症状如下[12, 13]：

- 恶心
- 睡眠不佳
- 头疼
- 疲惫无力
- 咳嗽
- 运动和安静时呼吸困难
- 运动失调
- 精神状态改变
- 液体潴留（抗利尿激素水平提高）

对参加科罗拉多州 Primal Quest 越野大赛的运动员所进行的一项评估发现，4.5%的运动员在比赛开始时有高原病，14.1%在比赛期间出现高原病，并需要进行医学治疗（其中13.3%为急性高山病，8%为肺水肿），14.3%因相关的高原病退出比赛[14]。该越野赛出发地点海拔9500英尺（2900米），途经地最高海拔超过13500英尺（4100米）。在高原地区发生的疾病的治疗方法是，将患者送至海拔较低的地区，如条件允许，应给予输氧治疗。对于症状恶化的患者，必须迅速将其送至海拔较低地区，不得延误，否则可能发生高原脑水肿（HACE）或高原肺水肿（HAPE），这两种症状均可危及患者生命[15]。大脑或肺部毛细血管渗漏是水肿的致病因素。高原脑水肿病程迅速，可在数小时内致死，其症状包括[16]：

- 运动失调（行走时步态如同醉酒时）
- 精神错乱
- 不同程度的精神紊乱
- 意识障碍，可发展至深度昏迷

高原肺水肿（HAPE）的诱因较难解释，但极少出现在海拔低于8000英尺（2400米）的地区。如未能及时救治（通常是将患者立即送至海拔较低的地方），高原肺水肿亦会导致死亡。高原肺水肿是由机体的氧气和二氧化碳交换能力下降所造成，其症状包括[17]：

- 极度疲劳
- 安静时呼吸困难
- 咳嗽，可能有粉色痰液
- 呼吸带喘鸣声
- 胸部发闷、肿胀或充血
- 嘴唇或指甲发青或灰白

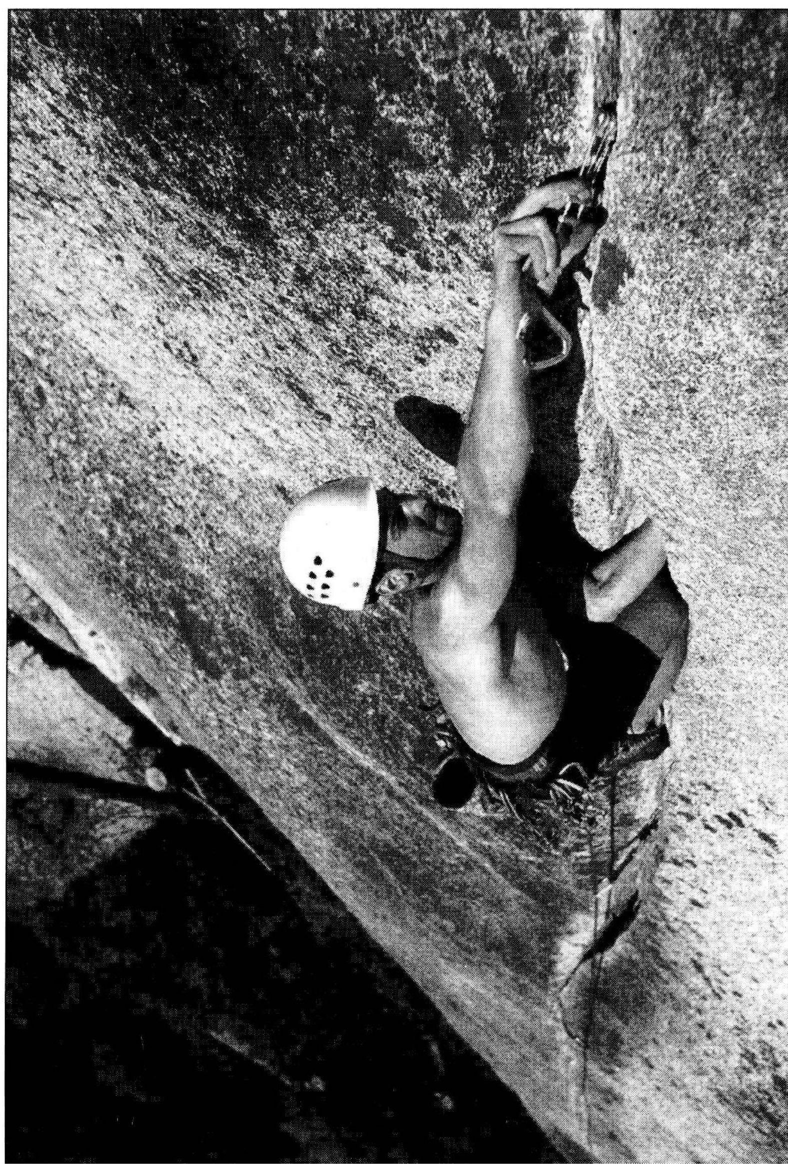
相对于正常体型的人，肥胖者更易发生急性高山病（AMS）[18]。但定期前往高原地区的人表现出更好的环境适应性，急性高山病的症状减轻[19]。其他一些方法，包括补充镁、银杏补充剂，被用于降低急性高山病的发生，但其效果均未获得有效验证[20, 21]。

急性高山病的合并症状是严重的食欲下降，伴随有进食和饮水减少。对于在高原地区工作的人们而言，最难解决的两大问题是保持体重和体液平衡，其原因是寒冷环境下高热量需求、液体摄入困难，再加上高海拔导致的食欲不振。

即便是那些定期前往高原地区的、有组织的登山探险者，也无法保证充足的能量摄入，从而导致体重减轻。在对喜马拉雅山的登山者进行的一项评估中发现，登山后登山者的体重都会有明显下降，在高海拔地区的能量摄入低于低海拔地区[22]。研究证明，在高原地区食物摄入量取决于海拔升高速度，通常会降低10%~50%。即便不是在极寒

冷环境（如在低压舱中），这种情况依然存在[23]。只有在有意识地摄入更多食物，通常是被迫进食时，高原地区的人们才能达到生理需要量[24]。

在极度寒冷环境下的排汗量几乎等同于高温高湿环境。据估计，穿着保暖冬衣进行中到高强度运动时的排汗量接近2升/小时[25]。因此，保持良好水合状态的关键是备有充足的饮用水，以便随时进行适度的液体补充。然而在寒冷和高原环境下，准备充足的饮用液体并能随时饮用是难以实现的。在温度常常低于冰点的环境中，除非有合适的方法，液体很容易冻结。此外，运送能够满足需要的足量饮用液体十分沉重。在所处环境中获得足够液体的方法之一是融化和净化冰雪，但这种方式需要消耗大量燃料。要满足一个人的液体需求量，需要6小时以上的时间和半加仑（2升）的汽油才能融化足量的冰雪[26]。



由于急性高山病（AMS）会降低食欲，因此登山运动员必须保持高能量摄入。

能量和营养需求的满足

登珠穆朗玛峰的能量消耗量平均为平原时的2.5~3倍[27]。显然，在寒冷或高原环境下运动后体重普遍下降是由于能量摄入的减少[28]，因此，在该环境下运动员应有意识地增加进食频率。最好是选择碳水化合物，相对于脂肪和蛋白质，碳水化合物代谢中氧的消耗量更低，有利于糖原储备，减少蛋白质消耗。此外，碳水化合物不足最终会引发低血糖，导致精神紊乱和定向障碍。有研究表明，登山者更偏向于选择碳水化合物类的食物而不是脂肪类[29]。然而，也有不同的结论。有研究指出，在高原地区运动员选择食物并不会从以往的高脂食物转为高碳水化合物食物[30]。在此报告中还指出，高原环境下运动员味觉迟钝，从而导致了能量摄入不足，能量摄入不足导致的体重下降（包括肌肉重量），对力量、耐力和产热能力均有负面影响。因此，应以摄入充足的食物从而提供足够的热能为目标，而不是将焦点集中在能源物质的分配上。知道自己食量大，而且在进食后感觉良好的运动员，更应该获得充足的食物供给。更为困难的事情是，海拔高度每上升5000英尺（1500米），做饭的时间就会随之增加一倍。因此，大多数情况下，包装好的高碳水化合物零食或食物是最佳代餐品，仅在水源充足、时间宽裕时运动员才选择烹调的餐食。

在进入寒冷或高海拔地区前摄入维生素和矿物质有一定益处。由于这种环境下人体携氧能力有限，事先确保机体的铁水平处于良好程度上具有重要意义。在高原登山过程中补充铁剂效果不显著，因为铁水平的改善需要较长的时间（数月）。在高热和寒冷环境下人体氧化应激较为剧烈，可考虑补充富含抗氧化物的食品或定期补充复合维生素和矿物质[31]。在一项关于人体在高原环境下氧化应激的研究中发现，与补充单一抗氧化剂的受试者相比，补充复合抗氧化剂者呼出的气体中戊烷（氧化应激指标之一）含量更低。因此，建议补充如抗坏血酸、β-胡萝卜素、硒、维生素E（存在于广谱补剂中）等多种抗氧化剂，而不是单一抗氧化剂[32]。

补液需求的满足

在寒冷和高原地区摄取足够液体会有相当的难度，必须克服诸多困难，以确保良好的水合状态。其中包括提供充足饮用水、避免饮用水冻结以及克服自发脱水。

提供充足饮用水　液体重量较大，且在绝大多数环境下不易运送。在气候寒冷危险的高原地区，饮用液体的来源成为一个棘手的问题。建议保证每人每天至少2升的液体摄入量，4升最佳。由于在寒冷高原地区进行大量体力活动，每小时可丢失2升水，因此2升为最低值。使用直升飞机、汽车或驮畜将大批量的食物、水和其他生活必需物质运送至尽可能高海拔的营地，是探险营地建立的一个基本策略。从探险营地出发向更高

海拔地区攀登时，登山者必须携带离开营地期间所需的足量水和食物。鉴于在高海拔地区融化冰雪需要消耗大量的时间，燃料、容器和炉灶的重量也随之增加，以融化冰雪的方式作为饮用水的来源并不是一个合理可行的选择。此外，所获得的冰雪可能不洁净，不适于饮用。据报道，在高原地区已发现肠兰伯式鞭毛虫，它是一种可导致腹泻的肠道寄生虫[29]。当然，在紧急情况下，任何可获得的水资源均可使用，但如未使用净化设备则存在感染的风险。

避免饮用水冻结　为了避免水冻结，登山者可以将所携带的饮用水贴近身体，甚至在睡觉时将水袋放入睡袋中。液体冻结后处理极为困难。有一种非常规的防止液体冻结的方式是在液体中添加甘油以有助于保持液态，增加液体的能量，降低冰点[33]。甘油降低冰点的特点鲜为人知，但对处于寒冷环境下的运动员极为重要。由于寒冷气候和高海拔地区下工作往往会引起低热量状态，增加热量也是甘油的另一个重要功能。

克服自发脱水　如果仅凭主观感觉，运动员在运动时的补水量通常都低于最佳水合状态的需要量。这种情况称之为自发脱水。相对于热环境，处于寒冷环境中的运动员在运动时出现此情况可能是个更为严重的问题。导致这种情况的根本机制尚不清楚，但从生理和实践两方面分析，以下两种原因被认为是最可能的[34]：(1) 皮肤发冷或较低的核心体温可能会改变口渴的感觉；(2) 为了避免在夜间离开温暖的帐篷到寒冷恶劣的环境中排尿，运动员往往在一天中较晚时有意限制饮水量。避免自发脱水的唯一可行解决方案是，要求运动员为自己制订一张固定的饮水计划表，无论是否口渴，都定时定量地进行饮水[35]。少量多次的规律性间歇补水还可以避免一次补充大量液体而刺激排尿。

11 性别与年龄

尽管本书重点介绍帮助运动员达到最佳状态的相关营养建议，但对运动员人群中的女性运动员和小群体运动员也给予了特别关注。要保持女运动员的健康状况和良好状态，需要考虑其特有的应激原系统。应重点关注女运动员三联征（饮食紊乱、月经不调、低骨密度）并采取相应措施以预防其发展。青少年运动员和老年运动员处于人生长发育成熟和老化进程相对的两端，营养需求和患病风险各不相同。青少年汗腺数量及每个汗腺的排汗量均低于成人，更易发生自动脱水[1]。这些因素大大增加了青少年运动时过热的风险。青少年运动员因营养物质和能量摄入不足的潜在影响所致的暑热症，影响生长发育，造成神志不清、进食紊乱，增加运动损伤风险[2]。老年运动者注意事项则与之不同，需要重点关注升高的热应激风险、体成分的正常变化、剧烈运动后的恢复速度。

女运动员

快速查阅膳食摄入参考表（DRIs）会发现女性和男性的营养需求显然相差甚远。需求的差异主要基于身材差异（男性较女性高大），但也有部分基于两性间明显的生理差异，例如铁，女性的铁需求量为男性的两倍。

对于运动员而言，能量的摄入取决于总体重、代谢产物的重量和运动持续的时间及强度。针对女运动员的研究发现其能量摄入普遍不足，认为不论女运动员从事何种运动项目，均会增加其出现饮食紊乱的风险[3]。此外，大量文献资料提到，剧烈运动对女性生殖系统有影响，常常会出现闭经或月经过少。这些报道建议提高能量摄入以满足高能量需求，可能有助于改善月经不调和所伴随的骨量下降[4]。月经不调引起的骨量下降在临床上仅见于女运动员，骨量减少增加了训练阶段应力性骨折风险，日后患骨质疏松的风险性亦随之增加。46 名女运动员中（其中 31 人有多处应力性骨折，15 人无应力性骨折），近半数出现应力性骨折的运动员月经不调，其中每周进行长跑训练者表现出极高的相关性[5]。尽管摄入充足能量和钙，并不能纠正应力性骨折的生物力学因素，包括足弓纵向长度较长和两腿长度不一，但若通过此方式促进女性恢复正常月经，则有助于明显降低应力性骨折的发生风险[6]）（应力性骨折风险详见表 11.1）。

表 11.1　应力性骨折风险

风险因素	营养学相关性（是 / 否 / 可能）
遗传	可能（与食物过敏或食物耐受性有关）
女性	否
白种人	否
体重较轻	可能（如不考虑遗传因素）
缺乏负重训练	否
内在和外在的力学因素	否
闭经	是
月经过少	是
钙摄入不足	是
热量摄入不足	是
饮食紊乱	是

Reprinted, by permission, from A. Nattiv and T.D. Armsey Jr., 1997, "Stress injury to bone in the female athlete," *Clin Sports Med.* 16(2): 197-224.

能量物质分配比例是女运动员的关注点之一。研究表明，在耐力项目中与男运动员相比，女运动员脂肪动用较多，糖原和蛋白质消耗较低[7]。由于糖原储备量有限，在长距离、较低强度的运动项目中，糖原消耗率低使女运动员较男运动员占有更为明显的优势[8]。这也引发了下列问题：鉴于能量物质利用模式的不同，耐力项目女运动员的能量物质摄入比例是否也应不同于男运动员？尚未有确切证据表明男女运动员摄入应有所不同，在长距离和超长距离的赛事中，碳水化合物储备（糖原）仍是运动能力的制约

因素。耐力运动员，无论男性还是女性，一旦糖原耗竭，运动能力就会下降（丧失）。在关于不同项目女运动员碳水化合物消耗模式的一系列研究中，得到一个范围较大的摄入量（详见表 11.2），参加研究的女运动员的碳水化合物每日推荐摄入量很少能达到一般训练期 5~7 克/公斤体重，耐力运动员 7~10 克/公斤体重[9]。

表 11.2 女运动员碳水化合物消耗模式

研究	每日摄入量（克 / 公斤体重）	运动项目
Gabel 等人，1995 年	18	超长距离自行车运动（每天 14~16 小时）
Peters 和 Goetzsche，1997 年	4	超长距离耐力项目
Steen 等人，1995 年	4.9	大学生重量级赛艇
Walberg-Rankin，1995 年	3.2~5.4	无氧运动（体操、健美操）
Walberg-Rankin，1995 年	4.4~6.2	有氧运动（跑步、骑自行车、三项全能运动）

成年普通人（非运动员）的蛋白质每日推荐摄入量为 0.8 克/公斤体重。运动员的推荐量为此推荐量的 2 倍，根据其耐力训练的强度，建议每天摄入蛋白质 1.2~1.8 克/公斤体重[10])。如摄入足够的总能量，该推荐摄入量可能超出实际需求。应注意目前尚无特定的女运动员蛋白质需求量数据，因此上述数值均来源于男女运动员或男运动员的研究。在获得特定的女子蛋白质需求量数据前，女运动员可依照该范围确定蛋白质摄入量。



女运动员必须主动自觉地关注自身脂肪、钙和铁的摄入，保证每日摄取充足的营养素。

女运动员希望能够消耗脂肪减轻体重，有研究表明闭经运动员的脂肪摄入量较月经正常者低 6%[11]。为了保证充足的能量摄入，饮食中不应完全排除脂肪摄入。运动员能量消耗很高，且女运动员具备良好的脂肪分解系统将脂肪转化为能量，脂肪的摄入量应占总能量摄入的 20%~25%。

女运动员维生素 B_6 摄入绝对值和蛋白质消耗的比例均达不到维生素 B_6 的需要量[12, 13]。除了维生素 B_6，只要不限制食物中能量的摄入，女运动员通常都可从食物中获得充足的维生素，以保持健康和运动状态。

毫无疑问，女运动员膳食中钙和铁的补充尤为重要。补充足量的钙十分必要，可提高和保持高骨密度水平，以降低骨折的可能，铁在将氧气输送到工作细胞的过程中发挥重要作用。对于奶制品适应不佳

的运动员，富含钙的橙汁是绝佳的替代品，同等容量的橙汁与鲜奶中含钙量相同。然而摄入钙并不是优良骨骼形成的唯一保证。尽管钙、维生素 D、雌激素和物理应力等都是骨骼生长的关键因素，对于每个运动员而言，确保足够的钙摄入量更易实现。

有研究发现女子长跑运动员铁储备（铁蛋白）偏低，而一些研究已发现有贫血症的女运动员补充一个疗程的铁剂后，有氧运动能力有所提高[14,15]。不缺铁时没有必要补充铁或其他维生素补剂。缺铁会引起诸多风险，女运动员应该定期（至少每年一次）检查，根据铁蛋白的测试值评估铁水平。

对女运动员的一般建议

1. 女运动员应充分意识到月经失调带来的不良后果，以及能量缺乏对身体发育的影响[16]。简而言之，女运动员应摄入充足的能量，至少可降低营养缺乏所致的月经失调风险。

2. 对于参与任何项目的每一个运动员来说，参赛前的体检应是正常的。女运动员的筛查应包括对女运动员三联征的现状及相关后遗症的评估报告[17]。

3. 评估钙和铁的摄入及状况，通过改变膳食摄入（建议）或在医生指导下服用补剂以纠正钙或铁不足的情况。评估钙水平的有效方法是定期检测骨密度（有无骨质减少症或骨质疏松症，每 3 年一次；如患有骨病则增加测试密度）。此外，膳食分析可确定食物中是否能提供足量的钙。每年进行一次铁状态评估，尤其是铁储备。一旦发生缺铁症状，应立即指导其进行铁剂补充，并进行血液追踪检验。

女运动员较男运动员更容易患上饮食紊乱，难以达到适宜的骨密度，出现铁摄入不足，她们还很容易发生痛经。膳食营养均衡可提供足够的能量，可以很好地解决上述大部分问题。为此女运动员应了解，为了减重而摄入过低热量时，肌肉组织的消耗要远远高于脂肪组织。运动员为了保持体形而长期控制饮食所引起的体成分改变，将使运动员面临营养失调以及相关疾病的危害。

青少年运动员

对于处于生长发育期、定期参加有规律的剧烈运动的青少年而言，生长发育期的能量和营养需求极高，如不采取特别措施，难以想象他们将如何满足营养需求[18]。能量供应不足可能会使青少年无法达到遗传的生长潜力，营养不良可能导致器官系统发育不良。例如，在生长发育突增期，钙摄入不足会导致骨密度不能达到最佳水平，从而影响一生的健康。对于能量和营养素摄入不足的年轻运动员的饮食尤应予以重视，这是确保其获得健康状态的关键因素。尤其是那些年龄较小的优秀运动员，例如女子体操运动员，在其达到生长发育、运动训练和竞技状态的最高峰时，往往难以获得足够的营养补充。对于这些运动员，应经常监测以确保其保持健康状态和正常生长发育速度。

女孩生长发育突增期从10~11岁开始，在12岁达到顶峰，通常15~16岁停止发育。男孩生长发育突增期较女孩晚2年，从12~13岁开始，14岁达到顶峰，通常在19岁停止发育。男孩女孩在5~10岁间身高大约增长11.8英寸（30厘米），但在生长发育突增期，男孩每年身高增长3.9英寸（10厘米），女孩每年身高增长3.5英寸（9厘米）。据估计，此期间所获得的骨重量占骨总量的25%[19]。虽然体育运动对骨骼结构的刺激有利于骨的生长，但此期间充足的钙、蛋白质和能量摄入同等重要（儿童与青少年的身高和体重详见表11.3）。

表11.3 儿童与青少年正常身高和体重

年龄	女性身高（英寸）	男性身高（英寸）	女性体重（磅）	男性体重（磅）
1	27~31（69~79厘米）	28~32（71~81厘米）	15~20（7~9公斤）	17~21（8~9公斤）
2	31.5~36（80~91厘米）	32~37（81~94厘米）	22~32（10~14公斤）	24~34（11~15公斤）
3	34.5~40（88~102厘米）	35.5~40.5（90~103厘米）	26~38（12~17公斤）	26~38（12~17公斤）
4	37~42.5（94~108厘米）	37.5~43（95~109厘米）	28~44（13~20公斤）	30~44（14~20公斤）
6	42~49（107~124厘米）	42~49（107~124厘米）	36~60（16~27公斤）	36~60（16~27公斤）
8	47~54（119~137厘米）	47~54（119~137厘米）	44~80（20~36公斤）	46~78（21~35公斤）
10	50~59（127~150厘米）	50.5~59（128~150厘米）	54~106（24~48公斤）	54~102（24~46公斤）
12	55~64（140~163厘米）	54~63.5（137~161厘米）	68~136（31~61公斤）	66~130（30~59公斤）
14	59~67.5（150~171厘米）	59~69.5（150~177厘米）	84~160（38~72公斤）	84~160（38~72公斤）
16	60~68（152~173厘米）	63~73（160~185厘米）	94~172（42~77公斤）	104~186（47~84公斤）
18	60~68.5（152~174厘米）	65~74（165~188厘米）	100~178（45~80公斤）	116~202（52~91公斤）

Reprinted from the CDC (Centers for Disease Control and Prevention).

女孩在青春期开始出现月经。在美国有不到10%的女孩初潮年龄不到11岁，90%的女孩初潮年龄为13.75岁，平均12.43岁[20]。女运动员的初潮年龄通常会晚1~2年[21]。

由于大约每4周一次的月经失血，有月经周期女孩的营养需求应予以重视。周期性失血所造成的铁丢失，使青春期女孩更容易出现缺铁症状或患上缺铁性贫血，如任其发展，则会严重影响其耐力能力。尽管所有青春期女孩都认识到补充足量铁的重要性，但女运动员仍需特别注意以保证获得足量铁。14~18岁女孩铁的膳食推荐摄入量为15毫克/天，而9~13岁女孩为8毫克/天。不难发现，14~18岁女孩铁的推荐摄入量较9~13岁女孩增长近一倍。即便是食用红肉的运动员要保证每天摄入15毫克铁也非易事，对于素食运动员而言，不补充铁剂就能保证每日15毫克的铁摄入量几乎是不可能的[22]（食物中含铁量详见表11.4）。如不能从食物中获得充足的铁，因铁摄入不足引发缺铁、运动能力下降、免疫功能受损，迫使运动员寻找其他易耐受的途径获得足够的铁[23]。

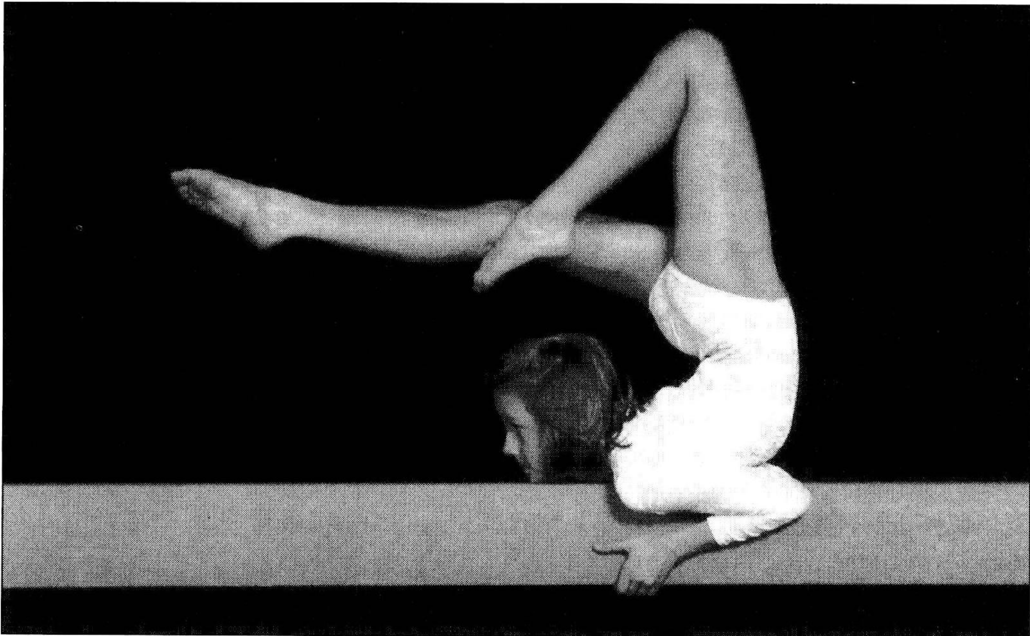
摄入充足能量对于保障正常生长发育和进行体力活动极其重要。与成年运动员相比，基础物质的配比对青少年运动员而言影响较小。通常建议成年运动员基础物质的配比中60%来源于碳水化合物，15%来源于蛋白质，25%来源于脂肪，但青少年的能量消耗模式使其能够从脂肪中获取更高比例的能量。研究发现，在进行耐力运动和高强度运动时，儿童较成年人消耗的脂肪更多，而碳水化合物则较少[24, 25]。由于脂肪中储存的能量更高，青少年运动员只需摄入少量高脂食物即可轻松满足高能量的需求。

青春期女性，包括青春期女运动员，常常通过控制饮食以控制发育所引起的体型改变和体重变化。节食会增加饮食紊乱的发生风险，这种风险在跳水和体操这类注重外表和体型的运动项目的青春期女运动员中更为明显。与集体项目的运动员相比，这些项目运动员更容易出现能量、蛋白质及钙和铁等微量元素摄入不足的情况。钙摄入不足并非小问题，可导致年轻运动员发生应力性骨折，并进一步导致骨质疏松，而缺铁则可影响耐力能力。研究已证实，尽管处于青春发育期的男女运动员的能量和营养素的摄入水平高于普通人群，但只要低于推荐水平，就会增加其患病和受伤的风险，降低其潜在的运动能力[26]。

表 11.4 所选食物的铁含量

食物	铁（毫克）
苹果（生）	0.2
牛排（90克）	2.7
白面包（2片）	1.4
花椰菜（1杯）	1.1
玉米煎饼、豆类	2.7
鸡胸（90克）	1.8
鸡柳三明治	2.7
可乐（360毫升）	0.4
炸薯条（1客）	1.4
葡萄（生）	0.6
烤乳酪三明治	1.6
汉堡面包（100克）	4.5
热狗面包	2.3
牛奶（1杯）	0.0
橙汁（1杯）	0.4
花生酱（1汤匙）	0.4
比萨、乳酪（1大片）	0.9
米饭（1杯）	1.9
油炸肉馅玉米卷	1.0

要求运动员在到校前吃早餐，中午吃适量午餐，运动训练后吃晚餐，这种典型的学校计划造成能量摄入的不均衡。为了保证及时获得充足能量供应，以免因能量缺乏导致瘦体重下降而脂肪组织增加，参加运动的儿童应采用多餐制以增加能量和营养素的总量。



为了降低骨质疏松和骨折的危险，年轻运动员需要补充足够的钙，尤其是注重外表和体型的项目，其中包括体操和跳水。

在快速生长期，运动员肌肉骨骼系统损伤发生率很高。这并非意味着体育运动对儿童有害。恰恰相反，适当的运动量和运动强度可刺激肌肉骨骼的生长发育。然而，未获得充足休息和营养的过度训练可导致劳损，包括肌腱炎、奥斯骨症和骨折[27]。此外，大强度训练期间女运动员常常出现继发性闭经。为了避免特定肌肉群或骨骼区域的过度训练，建议青少年运动员参加多种运动项目，青春期后再专攻某一特定项目。相对于早期专项化的运动员，遵循此方法的运动员发生运动伤害的几率较低，运动寿命更长[28])。

对青少年运动员的水合状态问题应予以关注，与成人相比，他们出汗较少，单位体重产热量更高，核心温度上升更快，引发“自动脱水”，难以快速适应热环境[29]。这些因素使年轻运动员发生热损伤的几率明显增加。因此，教练员和家长应充分了解脱水和热损伤发生时的精神与身体表现，并注意周围环境的温度和湿度，采取相应措施降低风险。事实上，青少年运动员容易出现主动脱水，即便在可获得充足的饮料供给时，他们也不能补充足量的水以保持水合状态，这就要求成年人鼓励他们饮水并观察其补水方式[30]。为年轻运动员提供他们所喜欢的饮料，这样的方法十分有效，所选择的饮料应该口味偏甜并含有少量盐，能有效保持血容量和出汗率。

学校饮食模式缺乏逻辑性

在小学期间，学校通常在上、下午的中间时段安排以牛奶和饼干为主的加餐，在两次加餐之间安排午餐。这一方案很合理也十分必要。升入初中正是生长发育突增期，需要大量营养和能量供应，此时牛奶和饼干的加餐制度却取消了。初中教师常常抱怨这个年龄段的孩子很难教育，却未采取任何措施以确保稳定的血糖水平，而稳定的血糖水平对于改善行为和营养状况有积极影响。在小学、初中、高中保留加餐制度，有利于满足能量的需求，另一方面也有利于控制不当行为。加餐制度对于易出现低血糖的人群而言是非常重要的。

对青年运动员的一般建议

1. 能量摄入水平应充分满足正常生长和发育需求，以及进行体育运动的额外能量需求。建议追踪青少年运动员的年龄身高比、年龄体重比和身高体重比（儿科医生常用表）。生长发育百分比平缓是能量摄入不足的标志之一。

2. 评估青少年体育运动的能量需求是非常重要，相对于成年人，完成同等运动时，儿童单位体重所需能量更高。8~10 岁儿童较成年人的能量消耗高 20%~25%，11~14 岁青少年较成年人高 10%~15%[31]。

3. 尽管能源物质的配比十分重要，但家长和教练员更应充分了解的是，总能量摄入量较膳食中碳水化合物、脂肪、蛋白质的个别摄入量更为重要。将摄入总能量中脂肪所占的比例从 25%提高到 30%，青少年运动员更容易获得所需能量。在总能量摄入量

充足的情况下，摄入蛋白质虽然十分重要，但不必高于总能量摄入量的15%或1.5克/公斤体重。

4. 青年运动员往往补液量不足，导致脱水并增加发生暑热症的风险。即便在有充足的液体供应时，也应鼓励运动员在成人指导下定时补水。即根据周围环境的温度和湿度，制订确切的补水模式时间表，包括在训练间歇每隔10~20分钟进行的补水。

5. 青年女运动员有可能出现原发性和继发性闭经，过度运动训练、能量摄入不足及其他因素均有可能引发上述问题。如果一名不满14岁的青年女子月经初潮年龄推迟，应请儿科医生对其进行检查，以确定是否存在潜在问题。此外，要认真评估营养物质和能量摄入是否充足。

6. 青年运动员不应节食，延迟进食和能量摄入过低对于达到理想体重和体成分具有反作用，并对生长发育产生负面影响。建议经常进餐，有条件可每隔3小时进餐1次。

7. 青年女运动员较难获得充足的铁，研究表明钙的摄入量也接近临界值。因此，青年运动员的家长应咨询家庭医生，以确定是否有必要补充铁剂或钙剂。

为了满足生长发育和运动训练二者的营养需求，青年运动员需要增加额外的营养。应保证青年运动员每天至少6次的进餐机会，以满足其营养需求。通过有计划的补液降低脱水的风险。此外，每年一次训练前的身体检查中，青年运动员应符合儿科医生认为正常的生长发育情况标准。青春期女运动员应进行原发性或继发性闭经的评估，并采取相应措施尽快解决这一问题。

老年运动员

老年运动员能够保持良好体能的实例相当多，因此很难界定运动员的退役时间。世界知名运动员协会列举了多名年逾60依然活跃在赛场上的运动员，几乎涵盖了所有运动项目，包括障碍赛、撑竿跳、马拉松和10000米跑。100岁年龄组中，男子室外100米跑的世界纪录保持者是俄罗斯的菲力普·拉比诺维茨（Philip Rabinowitz），成绩为30.86秒，英国的罗恩·泰勒保持着60岁年龄组的纪录，其成绩为令人震惊的11.70秒。老年女运动员的成绩也非常好。1994年，俄罗斯42岁女将叶可特琳娜·波德科帕耶娃以3:59.78的成绩夺得世界室内赛1500米的冠军。德国的约翰娜·卢瑟在80岁时，以令人惊讶的58:40.03的成绩跑完了10000米。显然，年龄渐长并不意味着必须停止运动。然而，伴随着年龄的增长，身体必然发生一些不可否认的改变，应予以重视，确保以健康的方式运动。其中，应特别注意与年龄相关的一些变化：体成分的改变及其对安静状态下能量消耗的影响，高强度或长时间训练后恢复能力的下降，骨量的逐渐减少，影响营养物质吸收的胃肠道功能细微的变化，热耐受力逐渐降低的可能性[32, 33]。

由于热衰竭和中暑会导致死亡，应对老年运动员热应激风险升高的问题予以重视。在高温湿热时期，发生严重疾病或死亡者通常为老人。即便处于同一年龄段，不应混淆老年人群和老年运动员人群，不论健康水平如何，散热能力均会随着年龄的增长而

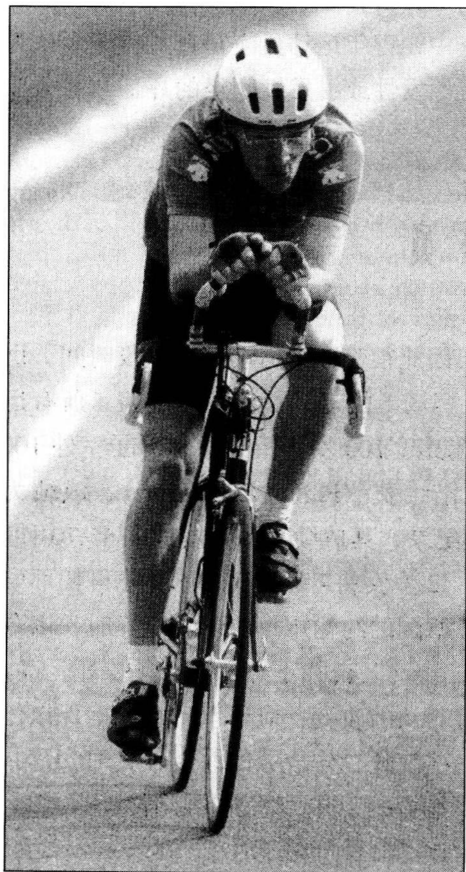
降低[34]（表 11.5）。

表 11.5 与年龄相关影响耐热能力的因素（不考虑时间年龄）

1. 较低的有氧能力及相关变化
2. 久坐不动的生活方式
3. 瘦体重偏低，而脂肪含量偏高
4. 液体摄入偏低或肾脏排泄偏高或两者兼有所引起的慢性脱水
5. 慢性病（包括高血压、糖尿病和心脏病）的高发性
6. 药物（包括利尿剂、肾上腺素能神经阻断药、血管扩张剂和副交感神经抑制剂）的频繁使用

Reprinted, by permission, from W.L. Kenney, 1993, "The older athlete: Exercise in hot environments," *GSSI Sports Science Exchange*, #44, 6(3).

影响汗液产生和降温能力的重要因素之一是提高皮肤血流量的能力。身体健康的老年运动员皮肤血流量低于年轻的运动员[35, 36]。此外，年龄所致的血流量降低与水合状态无关。这也说明，即便汗腺的募集水平与年轻运动员相似，老年运动员单位汗腺产生的汗液量也较少[37]。汗液的产生量受遗传基因影响差异很大，但相关研究建议，为了促进排汗能力的提高，老年运动员应对运动中适当的补液计划持警惕态度。老年运动员及其运动搭档应了解热衰竭和中暑的症状。他们还应了解绝大部分热衰竭发生在热适应前。因此在抵达新环境的前几天，运动员应降低通常的运动强度，缩短运动持续时间，直至适应环境。



随着运动员年龄增长，单位汗腺排汗量降低。系统的水合计划可弥补老年运动员排汗量减少的问题。

骨密度随着年龄增长逐渐减低，女性在更年期后失去了雌激素对骨的保护作用，骨密度快速下降。这也是强调青春发育期要达到高骨密度水平重要性的主要原因之一，这样即便年老后骨密度逐渐降低，也能保证充足的骨密度以免达到骨折阈值。通过摄入充足的钙、经常晒太阳获得维生素 D、定期进行负重训练等途径，可改变骨密度的变化率。此外，女性可在医生的指导下进行雌激素替代疗法（ERT）。对于有骨质疏松家族遗传史或已被诊断为低骨密度的女性而言，雌激素替代疗法有一定疗效。用于止痛或骨关节炎的可的松类药物可促进骨的分解代谢，持续使用此类药物会增加老年运动员发生低骨密度的风险。经常参加体育运动刺激骨骼系统，是老年运动员保持骨密度的关键因素。

毫无疑问，老年运动员将逐渐出现胃肠道功能障碍以及营养需求改变，尽管缺乏相关研究报道证实，但事实如此。年龄对胃肠道功能障碍的影响包括：能动性降低，食物中钙、维生素 B_6 和维生素 B_{12} 的吸收率降低，需要更多的液体和纤维素以抵抗胃肠道能动性的下降，铁和锌的吸收也应予以考虑[38]。20 岁以后，男性的能量消耗水平每年大约降低 10 千卡，女性大约 7 千卡。但能保持其瘦体重（肌肉）者往往可保持其能量代谢水平。因此，能量代谢水平的下降对老年运动员是否有影响，有何影响，目前尚不清楚。

应对免疫功能的变化予以重视。长期有规律的训练可减缓年龄增长对免疫系统的改变[39]。老年运动员为了改善免疫系统而补充维生素和矿物质的现象十分普遍。鲜有证据证明这一方法切实有效，若所补充的是那些未能很好吸收的营养素，则有可能获得一定效果。老年运动员应咨询他们的医生，确定所需营养素的最佳补充方案，而非自行决定。例如维生素 B_{12}，在某些情况下，只能定期注射才能降低恶性贫血症的发病风险。口服维生素 B_{12} 补剂则不起作用。良好的蛋白质水平是免疫系统功能稳定的重要因素，但认为蛋白质摄入应超过运动员所需正常值（1.5 克/公斤体重/天）则缺乏证据支持。恰恰相反，年龄的增长往往伴随着肾功能的衰退，应通过减少蛋白质摄入量来降低含氮废物总量。最佳方法是摄入优质蛋白以降低含氮废物的产生。

对老年运动员的一般性建议

1. 老年运动员应采取相应措施降低脱水的风险。鉴于老年运动员进行同等运动时出汗量低于年轻运动员，应制订明确的补水计划并了解热应激的征兆。

2. 以补剂的形式获取额外的维生素和矿物质以保持胃肠道功能。老年运动员应经常咨询医生，以确定对特殊补剂的生理需求，并按规定合理补充相应补剂。需要重点关注的维生素和矿物质包括钙、铁、锌、维生素 B_6、维生素 B_{12}。

3. 肠道能动性的衰退需要适量补充纤维素，但同时还必须增加液体的补充量。与补充全麦食品一样，多吃新鲜水果和蔬菜，均为摄入额外纤维素的良好途径，此外这些食物还可提供所需的碳水化合物类能量。

4. 经常生病可视为免疫功能衰退的标志之一。没有完美的武器可以对抗免疫功能的衰退，但适量运动、合理膳食、充足休息均非常有效。进食频繁的老年运动员应向医生咨询。

5. 老年运动员适应新环境所需时间更长，旅行后数天降低运动强度和频率可合理有效地避免过热和疾病的发生。

老年运动员的新陈代谢率有所减缓，因此，如不适当降低能量消耗，很难保持理想的身体成分和体重。同时，营养需求要选择高营养密度的餐食（例如，较高的营养素-能量转换率）。避免过度训练对于减少损伤保持免疫力十分必要。随着年龄的增长，伤病的恢复时间随之延长。最后，随着年龄的增长，排尿频率加大，可能会抑制液体摄入，为了避免出现脱水并保持胃肠道能动性，补充充足的液体尤为重要。

12 体成分与体重

强度重量比是克服运动阻力（空气阻力）的关键因素之一，而在许多运动项目中，运动员的外型与成功紧密相关，例如跳水、健美操、艺术体操。通常运动员所采用的减体重方法往往适得其反，尽管体重暂时降低，却是以体成分的不良改变为代价的。运动员应该了解在训练和比赛中克服特定运动阻力，提高保持稳定输出功率能力的最佳方法。运动员还应了解如何在达到理想体重的过程中既不丢失肌肉和力量，也不增加体脂百分比。此外，运动员及其教练员应对大部分女运动员和一些男运动员常用的循环减重模式所导致的风险有所认识，包括饮食紊乱和相关的骨密度问题。骨密度问题可能会引起的应力性骨折，最终可能导致运动员无法继续其运动生涯。不良的减重方式往往降低肌肉重量并提高脂肪含量，从而使运动员难以维持最佳状态。

本章节帮助运动员了解减体重和体成分相关知识，以便于他们选择适当的方式获得适合其运动项目的最佳强度重量比。此外，本章节对近年来体成分评估测试方法进行总结，帮助运动员更好地了解这些测试方法所获得数据的真正含义。最后，本章节将讨论饮食紊乱以及运动员通常采用的循环减重法是如何导致饮食紊乱等问题的。

减重和体成分

身体由不同成分构成（包括水、肌肉、脂肪、骨骼、神经组织、肌腱等），不同成分密度不等。从功能角度看，组织可分为两类，一类是无水（组织内几乎无水分）、以脂肪为主的组织（体脂重量），另一类是富含水（组织内含有大量水分）、脂肪含量极少的组织（去脂体重）。去脂体重通常也称为瘦体重，由于去脂体重中包含大量水分（大于 65%），很多人认为这一描述并不准确。鉴于体成分评估技术的广泛使用，目前骨重量也被纳入评估范围，被认为是体成分的第三类组成部分。本书中所讨论的体成分特指体脂重量（以脂肪为主的身体组织）和去脂体重（脂肪含量低的身体组织，包括肌肉和骨骼）。

体脂重量包括必需脂肪和储备脂肪。必需脂肪是人体赖以生存的大脑、神经、骨髓、心脏组织以及细胞壁必不可少的组成部分。成年女性总体重中 12%~15%为必需脂肪，其中大部分与生殖功能有关，还包括乳房组织中额外的脂肪。由于男性无此类生殖功能需求，其必需脂肪水平相对较低。储备脂肪指存在于皮下（皮下脂肪）和器官周围（腹内脂肪）的脂肪组织，可为机体储备能量。通常健康成年男性和女性的储备脂肪量占总体重的 11%~15%。体脂含量为必需脂肪和储备脂肪的总和，通常男性体脂%为 15%（必需脂肪 3%，储备脂肪 12%），女性体脂%为 26%（必需脂肪 15%，储备脂肪 11%）[1]。

体脂含量过低的女性易引发生殖系统疾病，一般表现为月经周期不规律（表 12.1）。月经过少和闭经会导致骨折风险增加和雌激素水平偏低，而雌激素水平偏低会增加骨质疏松症发病风险（一种与低骨密度相关的骨病）。对于大部分女性而言，将体脂百分比控制在 17%~22%对于维持正常月经周期十分必要[2]。

表 12.1 与月经周期相关的一般术语

术语	定义
闭经	连续 6 个月无月经期或连续 3 个月经周期无月经
痛经	月经期疼痛
月经正常	月经频率正常，流量、时间无异常，无疼痛
月经过少	月经频率不规律，一年少于 8 个月经周期或月经间隔大于 35 天
背景	在一个周期内，当下丘脑（大脑内的一个器官）检测到血流中雌激素和黄体酮的含量降低，便分泌促性腺激素（GnRH），此激素会刺激脑垂体分泌促卵泡激素（FSH），刺激卵巢产生雌激素，形成子宫内膜组织，并促使一个卵泡内的卵子发育成熟直至排卵；同时，脑垂体分泌的黄体生成素（LH），可促使卵子的释放（排卵）。排卵后，残留空卵泡产生的黄体酮，促使子宫内膜组织成熟，为受精卵着床做好准备（怀孕）。如无受精卵着床，激素水平下降，此时所形成的内膜组织无法与子宫壁结合而脱落。子宫内膜的脱落被称为月经期。

体脂百分比极低的女性不是运动量大大超过其能量摄入总量，就是存在饮食紊乱问题。女子运动员中普遍存在的女运动员三联征，包括饮食紊乱，闭经，低骨密度、骨质减少或骨质疏松症等（图 12.1）。

去脂体重主要由水和蛋白质构成，但也包括少量矿物质和碳水化合物（糖原）储备。去脂体重主要由骨骼肌、心脏和其他脏器构成。身体总重量中约 60%为水，其中水约占去脂体重的 70%，而水在脂肪组织中的含量低于 10% [3]。通常运动员较普通人拥有更多的去脂体重和更低的体脂重量。

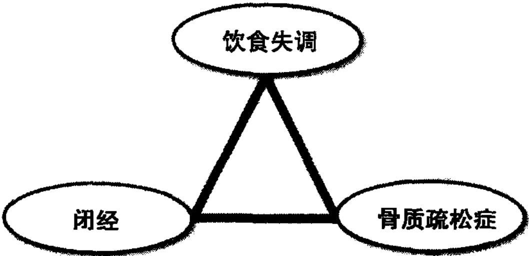


图 12.1 女运动员三联征。

体重

体重测量本身并不能区分体脂含量和去脂体重，不能测定体成分。因此，“体重长了，我一定是发胖了”这样的评价很常见，但不一定正确。运动员有可能在提高去脂体重（例如肌肉）的同时不增加体脂含量，从而使体重增加而脂肪重量不变。运动员也可能在体重不变的情况改变体脂或去脂体重的重量。此类变化是否理想取决于增加的是哪种成分。无论何种运动项目，所有运动员均希望找到理想的较高的强度重量比，该指标和去脂体重与体脂含量比值的提高有关。实现这一目标可通过以下途径：保持去脂体重，降低体脂含量（总体重降低）；增加去脂体重而保持体脂含量（总体重增加）；增加去脂体重而降低体脂含量（总体重降低）；去脂体重的增加远远高于体脂含量的增加（总体重增加）。显然，仅仅监测体重的变化不足以反映体成分改变的真实情况。尽管体重监测这一方式对于评价运动员能量平衡非常合适，但无法评价体成分的变化是否与预期吻合。因此，体成分评价应成为运动员评价测试中的标准项目之一。

理想体重

用于预测理想体重的公式很多，但对于运动员而言，这些公式所获得的测算值均有其局限性。用于预测理想体重最常用的公式为 BJ Devine 公式（1974）、JD Robinson 公式（1983）以及 DR Miller 公式（1983）。

Devine 公式

男性：理想体重（公斤计）=50 公斤+2.3 公斤/英寸（超过 5 英尺即 152 厘米时）

女性：理想体重（公斤计）=45.5 公斤+2.3 公斤/英寸（超过 5 英尺即 152 厘米时）

Robinson 公式

男性：理想体重（公斤计）=52 公斤+1.9 公斤/英寸（超过 5 英尺即 152 厘米时）

女性：理想体重（公斤计）=49 公斤+1.7 公斤/英寸（超过 5 英尺即 152 厘米时）

Miller 公式

男性：理想体重（公斤计）=56.2 公斤+1.41 公斤/英寸（超过 5 英尺即 152 厘米时）

女性：理想体重（公斤计）=53.1 公斤+1.36 公斤/英寸（超过 5 英尺即 152 厘米时）

体重指数（Body Mass Index）

体重指数是一个非常有用的体重归类指标。由于运动员较普通人的肌肉含量更高，其身高体重比必然增加，这一指标对于运动员而言并无实际意义。BMI 借助以下公式来评价身高与体重的关系。

BMI=体重（公斤）/身高（米）^{2}

BMI=公斤/米 ^{2}

BMI=［体重（磅）/身高（英寸）^{2}］×703

BMI=（磅/英寸 ^{2}）×703

表 12.2 提供了 BMI 值与其相关的标准。

表 12.2 BMI 标准

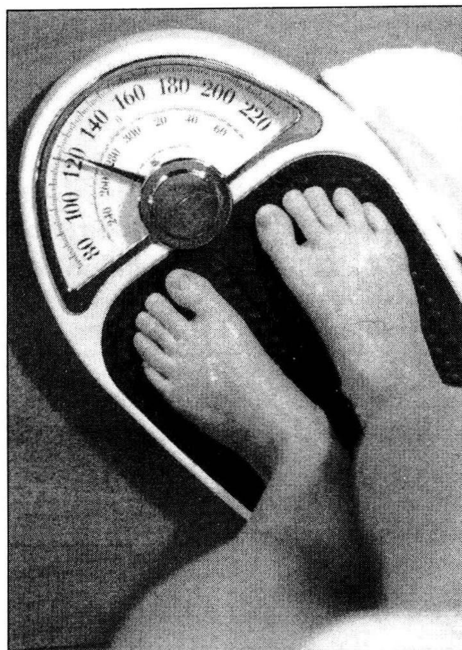
分类	BMI 值
偏瘦	<18.5
正常	18.5~24.9
超重	25.0~29.9
肥胖	≥30

体重问题

毫无疑问，总体重对运动员十分重要，事关运动员能否轻松展现其运动技能。一项关于儿童和青春期少年身体成分和基本运动技能相关性的评估研究结果表明，不适宜的体重会导致运动技能降低 [1]。仅关注体重这一单个指标，可能会使运动员对其体成分的优劣产生误解。在很多运动项目中，运动员通过增加训练的时间和强度以提高运动能力，然后以体重的改变作为训练效果的评价标准，这其实是不恰当的。假设一名足球运动员在非赛季刻苦训练增加肌肉量，由于肌肉的增加而使体重增加，刚到集训营时的体重远远高于之前教练员见到这名运动员时的体重，难道此时教练员应该要求其减体重么？体操运动员往往在青春发育期达到其竞技状态的巅峰，这个阶段生长发育的速度加快是正常生理现象。然而，体操运动员和其他一些项目的运动员每周甚至更频繁地称量体重，以确定其体重保持稳定。事实上他们进行的所有训练都将增加肌肉量从而引起体重的增加，而生长发育也会引起体重增加。这都是错误使用体重指标作为评价训练效果的实例。因此，跟踪体成分指标更有意义，可为身体所发生的变化类型提供更有价值的信息。

生活中的能量热力学定律无处不在。机体摄取的能量大于所消耗的能量则体重增加，机体摄取的能量少于消耗的能量则体重降低，机体摄取的能量与所消耗的能量相同则体重保持不变。然而，体重的变化并不像能量热力学定律所表述的如此直接。

通常人们认为，低热量的膳食对于减重减脂很有效但让人不悦。降低 25%的能量摄入可降低体重的 25%，看似符合逻辑，然而，由于降低的那部分体重不再消耗能量，事实上体重降低后人体的能量消耗要低于预期值 [4]。这意味着需减少的能量摄入可能大于估算值，否则即便减少了能量摄入，体重还是可能恢复至起始值（例如：进食越少，



训练可逐渐增加体重而不是降低体重。

为了保持体重只能进食更少），新陈代谢率的降低是出现该现象的根源。能量摄入不足时，身体将分解代谢肌肉，使机体依靠更少的能量即可存活。

逻辑上增加25%的能量摄入将增加25%的体重。事实上体重的增加值并不能达到与能量摄入增加值持平的水平，但比较接近。当人们通过主动增加进食量以增加体重时，体重增加量与食物摄入增加量成正比[5-8]。这些研究结果表明，当能量不足时，人体存在一种平衡机制帮助维持稳定的体重，此"物种存活"机制有利于饥荒时期人类的存活。此外，在能量过剩期间人体以脂肪的形式更高效地储备能量。这是物种存活机制的另一种表现，使我们在可获得充足能量时储存能量以备需要。

能量过剩或能量缺乏均会激活体内的平衡机制，希望获得理想的体重和体成分，要尽可能避免改变能量平衡。运动是获得理想体成分的重要途径（例如，提高瘦体重降低脂肪含量，体重略微下降）。如日常能量过剩和能量缺乏状况不显著则更容易获得理想体成分。图12.2举例说明了体成分在不同饮食模式下所发生的变化，能量过剩和能量缺乏通过在最佳能量平衡为基线（零）上下的浮动变化来表示。在图中，曲线位于零点以上时，运动员摄入的能量高于其消耗的能量。当曲线位于零点以下时，运动员消耗的能量大于其摄入的能量。饮食模式1中，运动员采取少吃多餐的方式，能量过剩或能量缺乏的范围保持在400千卡以内。饮食模式2中，运动员进食次数较少，但每次摄入能量很高（超过能量过剩的高限）。饮食模式3中，运动员摄入能量不能满足其需要，此情况下将因能量不足而损伤肌肉组织。在一天结束的时候，一顿丰盛的晚餐可使运动员达到能量平衡，但其中绝大部分能量将以脂肪的形式储存起来。无论何时，能量平衡对于运动员的运动状态和体成分均至关重要。

体重是热量摄入充足与否的最佳指标，而体成分则可验证热量的摄入量及间隔时间是否恰当。图12.2和图12.3将介绍为你的活动提供能量的最佳方式，并请参见16~18章的膳食计划范本。

一日三餐的标准饮食计划迫使运动员在每餐进食时均要摄入大量能量，才能达到其能量需求，六餐制模式更易于达到能量平衡。少食多餐、保持稳定的能量变化幅度是获得理想体重的重要策略。本书第6章已讨论定时进餐的重要性。

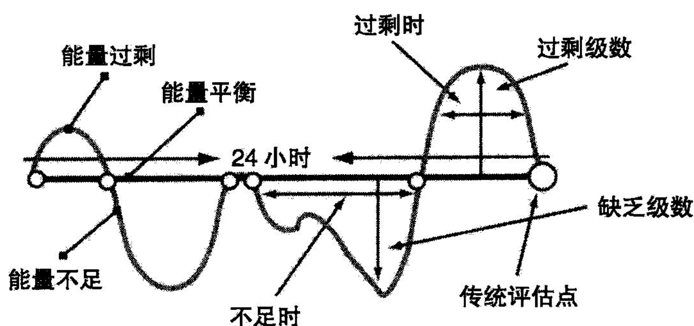


图 12.2 一天中能量平衡的急剧变化将影响体成分。

Adapted, by permission, from D.R. Lamb, 1995, "Basic principles for improving sport performance," *GSSI Sport Science Exchange*, #55, 8(2).

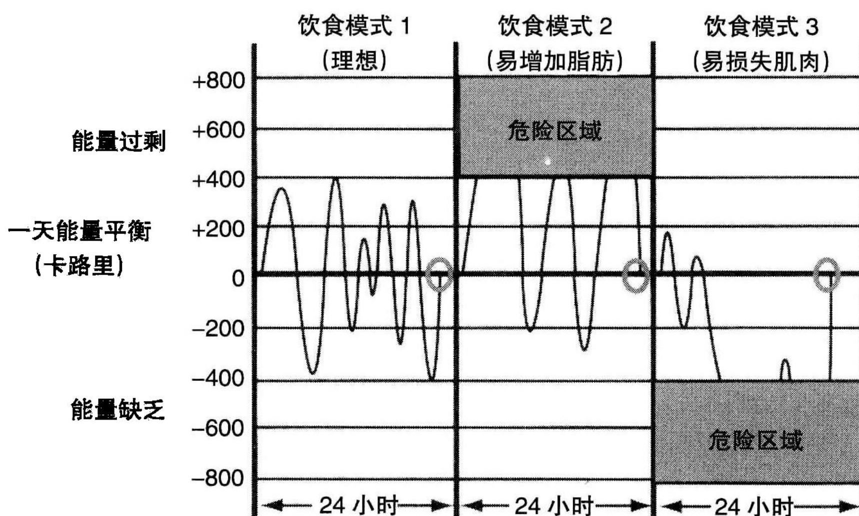


图 12.3 个人饮食模式是体成分重要潜在影响因素。

身体成分

体成分评估目的在于确定运动员去脂体重和体脂含量的比例。较高的去脂体重/体脂含量比值通常代表着较高的强度重量比，而这往往是运动员成功的关键所在。然而，适合所有项目所有运动员的单一理想体成分并不存在。每项运动都有其去脂体重和体脂含量浮动范围，而同一运动项目中不同运动员也有其个体去脂体重和体脂含量理想值。如果运动员仅凭主观意识试图达到不适合其自身的体成分，则不利于健康，也无法达到其期望的状态。事实上，当运动员试图达到与其自身情况以及遗传所不符的体重或体成分时，他们总是难以达到最佳状态。因此，体成分评估的关键在于为每一个运动员确定

适宜的去脂体重和体脂含量范围。定期监测去脂体重和体脂含量十分重要，可确定去脂体重的稳定或增加以及体脂含量的保持或降低。与体脂百分数一样，对于去脂体重的变化（包括瘦体重总量和身体各部分瘦体重的比例），应给予同等的重视。

体成分包括“体脂含量和去脂体重”这一模式中体脂含量和去脂体重的总和等于总体重。体成分评估通常可测定体脂百分数或脂肪占总体重的比例。假设一名运动员体重为150磅（68公斤），体脂百分数为20%，则该运动员体脂含量为30磅（150×0.20=30，13.6公斤），去脂体重为120磅（150×0.80=120，54.4公斤）。如果这名运动员在体重不变的前提下，将体脂百分数减至15%，体脂含量则为22.5磅（150×0.15=22.5，10.2公斤），去脂体重为127.5磅（150×0.85=127.5，57.8公斤）。其中去脂体重增加了7.5磅（3.4公斤），体脂含量降低，说明运动员外型变瘦了（同等重量下，相对于脂肪而言，肌肉密度高，所占体积更小），这也就意味着运动员在同等体重条件下，能更快速有效（阻力降低）地进行运动。反之如果这名体重150磅（68公斤）的运动员在保持现有体重不变的情况下，体脂增加而瘦体重降低，其速度潜力和运动效率均会降低。如果缺乏体成分的相关知识，体重对于评估运动员的运动能力并无实际意义。

身体成分和运动能力

运动员的运动能力很大程度上取决于运动员保持力量（包括有氧和无氧）和克服阻力的能力。这些能力均与运动员的体成分有关。那些注重体形的运动项目中大多数运动员（如游泳、跳水、体操、花样滑冰）一般有这样的共识，达到完美的体成分往往已成为训练中一大焦点问题。希望获得最佳体成分，除了要考虑审美和运动能力两个因素外，还要考虑到安全因素。

运动员认为，克服运动中的阻力或拉力与保持足够能量以确保整场比赛或整节训练课的能量输出之间存在固有的矛盾（图12.4）。运动员将减轻体重（如变瘦）视为对抗阻力的一项有效手段（想象自行车运动员或速度滑冰运动员为了减少阻力时的身体姿势和外形），他们通常采用减少能量摄入的方式降低体重，然而，要想维持功率输出能力，要求饮食至少能达到能量平衡的状态。显然，很多运动员认为后者（即保持力量输出）不如降低阻力那么重要，因此运动员往往选择控制能量摄入的方法来降低体重。

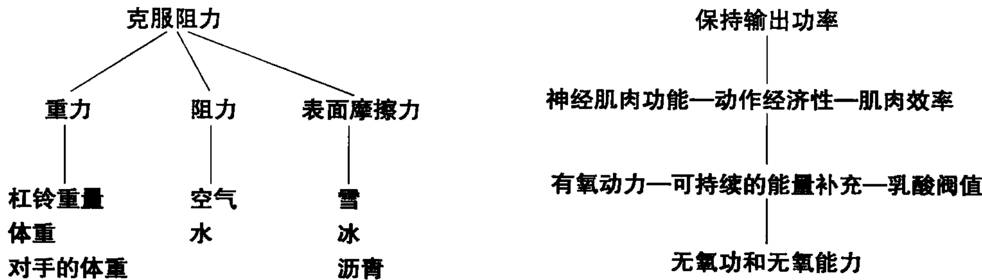
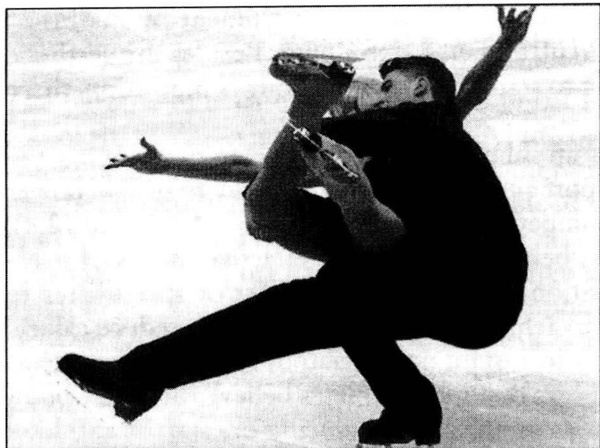


图12.4 为了成功完成训练和比赛，运动员必须获得能量以维持克服阻力所必需的力量。
Adapted, by permission, from D.R. Lamb, 1995, "Basic principles for improving sport performance," *GSSI Sport Science Exchange*, #55, 8(2).



有时候，训练的重点集中于如何达到理想的体成分，而忽视了保持做功能力和克服自身阻力，这是一种错误的观点，在游泳、跳水、体操、花样滑冰等项目中尤为突出。

在完成高难技术动作时，体重过大的运动员相对于拥有理想体成分的运动员而言更容易受伤。然而，当运动员为了获得最佳体成分所采取的方法往往结果适得其反。节食和过度训练会导致严重的能量摄入不足，尽管总体重可能会下降，但体成分也随之改变，通常会出现肌肉量降低而体脂含量相对增加。体脂百分数的升高和肌肉含量的下降，不可避免地导致运动能力下降，从而促使运动员选择更低能量摄入的方式。呈螺旋状下降的能量摄入可能是运动员发生饮食紊乱的先兆，进而引发严重健康问题。尽管获得理想体成分有利于提高运动员的运动能力，但运动员们通常所采用的方式却可能降低运动能力，发生运动损伤，增加健康风险，更易发生饮食紊乱。

许多人对食物的观点并不健康，认为无论其数量和种类，食物都是“脂肪产生物”。然而健康的观点（从运动员的角度说更为确切）则认为，食物为肌肉供能提供能量和营养素。

体脂百分数在不同运动项目中的最佳范围虽然比较接近，但根据运动项目特点来确定其范围对于运动员而言更为适宜。在一定合理范围内，相对低的体脂百分数有助于提高运动能力，有利于其强度重量比的提高：体重不变时，表现为产生力量的瘦体重更多，储存能量的体脂含量更低。这将有利于降低运动员在空气中运动、在水中游泳或是在冰面上滑行时所遇到的阻力或摩擦力，运动员的体型越小，身体所产生的阻力越小。

对于一些项目而言，减少阻力十分重要（通常行进的速度越快，减少阻力的重要性越大），其运动技术往往以降低阻力为基础。例如，速滑运动员在冲出起跑线后，整场比赛中弯下身体以减少风阻力。自行车运动员穿戴特殊流线型头盔和外衣，并将身体伏在自行车上以降低阻力，甚至会制定超越前面其他运动员冲刺最佳时机的相关策略。速度过快会导致能量耗竭提前出现，这是因为受到空气阻力的影响，同等骑行速度下领骑运动员比其他运动员消耗的能量更多（12%~17%）。体重 110 磅（50 公斤），身高 5 英尺（152 厘米）的两名体操运动员，体脂百分数为 15%的运动员在完成空中翻腾时的空气阻力小于（即阻力更小）体脂百分数为 20%的运动员。花样滑冰运动员要完成更多的空中旋转跳跃动作才更具有竞争力。对于体型更大的运动员而言，旋转次数越多，完成动作的难度越大。不过，阻力问题对于某些项目而言无明显影响。例如，橄榄球比赛中防线上的球员就不会考虑到空气阻力的问题。然而，对于防线上的运动员而言，强度重量比高的运动员跑动速度和力量更好，更容易胜过那些移动速度慢的运动员。在举重项

目同一级别的较量中，去脂体重较高而体脂含量较低的选手优势更明显。由于脂肪的密度相对较低，同等重量的脂肪所占体积大于肌肉组织，对于那些受空气阻力影响较大的运动项目而言，体成分尤为重要。表 12.3 比较了不同项目运动员的体成分范围。

表 12.3　不同运动项目中男女运动员体脂百分数范围

运动项目	体脂百分数（%）（平均范围）男性	女性
棒球（20~28 岁）	12~16	
篮球（25~27 岁）	7~11	20~27
自行车	8~9	13~15
花样滑冰	9~10	12~13
橄榄球，后卫（19.3~20.3 岁）		13~14
橄榄球，进攻型后卫（17~24.5 岁）		10~12
橄榄球，中后卫（17~24.7 岁）	9~12	
橄榄球，四分卫（平均 24.1 岁）	13~14	
曲棍球（22.5~26.3 岁）	13~15	
赛艇（平均 25.6 岁）	5~7	
回力网球（21~25 岁）	8~9	13~14
速度滑冰（平均 21 岁）	9~11	
高山滑雪（16.5~21.8 岁）	9~11	20~21
越野滑雪（20.2~25.6 岁）	7~13	15~22
北欧式滑雪（平均 21.7 岁）	8~9	
美国少年足球（平均 17.5 岁）	9~10	
美国奥林匹克足球（平均 20.6 岁）	9~10	
美国大学生足球（平均 20 岁）	9~11	
美国国家足球（平均 22.5 岁）	9~10	
所有的侧泳、长距离游泳（15.1~21.8 岁）	5~11	26~27
短距离游泳		14~15
中距离游泳		24~25
长距离游泳		17~18
花样游泳（平均 20.1 岁）		23~24
田径，长跑（20~26 岁）	5~7	15~19
田径，中距赛跑（20~25 岁）	6~13	
田径，短跑（20~47 岁）	5~17	19~20
田径，越野赛跑（平均 15.6 岁）		15~16
田径，竞走（平均 26.7 岁）	7~8	
田径，铁饼（21~28 岁）	16~17	24~25
田径，跨栏（平均 20.3 岁）		20~21
田径，铅球（21.5~27 岁）	16~20	27~29

（续表）

运动项目	体脂百分数（%）（平均范围）男性	女性
三项全能	7~8	12~13
排球（19~26 岁）	11~13	17~22
力举（24.9~26.3 岁）	9~20	
奥林匹克举重（平均 25.3 岁）	12~13	
健身举重（25.6~29 岁）	8~14	13~14
摔跤（11.3~27 岁）	4~15	

注：表中所提供数据是在不同场合对一定数量的运动员使用皮褶厚度法或水下称重法进行测量所得数据，不能作为理想值。表中的数据可用来比较不同运动间的体脂百分数。

Adapted from *Training for sport and activity: The physiological basis of the conditioning process*, 3rd ed., 1988, edited by J. Wilmore and D. Costill, with permission of The McGraw-Hill Companies.

体成分的测定

通过体重测量或外在观察准确判定一个人的体成分极为困难。有些人看似很瘦，但去脂体重较少，体脂百分数相对较高，而一些看上去体型较大的人实际上比较瘦。即便用先进的设备和复杂的公式也难以准确评估体脂百分数，且难以保证重复性。目前还没有评估体成分的直接手段（如果使用直接测量方法，受试者无法存活），因此，现行评估体成分的所有方法均试图尽可能准确地估算体脂含量或去脂体重。由于每一种技术都有其独特的测量原理，不应交叉对比不同技术的测试结果。例如，通过皮褶厚度测试法所测的体脂百分数不应该与通过生物电阻抗分析法所获得的数据进行比较。不同测试方法所获得的测试结果的差异可能会困扰运动员。常用体成分测试方法包括：

- 静流称重法（水下称重法）
- 使用预测公式的皮褶厚度测量法
- 生物电阻抗分析法（BIA）
- 双能量 X 射线吸收测定法（DEXA）

水下称重法（静流称重法）

水下称重法是测定体成分的经典方法。该方法基于阿基米德原理[9]，即同等重量的物体，密度低的物体表面积更大，较密度高的物体排开的水更多。从体成分角度解释，这一定律通过以下方式体现：

- 受试者在标准秤上称量体重以得到“地上体重”。
- 使用专用设备，测定受试者肺活量（受试者对着一个管子吹气）。
- 受试者坐在与称量台相连的座椅上。
- 将座椅和称量台置于水面上，座椅缓慢降入水中。

- 当受试者下巴刚好降到水面以下时，要求受试者完全呼气，并低头使整个头部完全浸入水中。
- 当完全浸入水中时，与受试者所坐椅子相连的称重台快速获得“水下称重”值。

体脂会给受试者一定的浮力（不考虑其数量多少），受试者在水下的体重较水上轻。水中体重和水上体重的差值取决于受试者体脂含量。肥胖的受试者体脂含量高，其水中体重与水上体重相比轻很多。肺活量在称量水下体重前测定，肺内空气可使浮力发生变化。为了尽可能减小肺内空气对测试值的影响，要求受试者在完全浸入水中前呼气，但肺内总会有一些残留气体，即所谓的余气量。

尽管以水密度计量学为原理的水下称重法会因人体的水合状态和余气量存在一些潜在误差，若测试人员能严格按照测试程序进行重复测量，该方法对于测定一段时间内体成分的改变十分有用。由于在大样本量的测试中有关技术误差被均分，因此该方法也适用于测定某一人群体成分。然而，受试人群中的个体应了解其个体的体成分数据并非绝对准确。先进的体成分研究实验室为了进行更精确的静流称重，投入大量资金购置相关设备，此外，还进行人才投资以保证测试人员的高素质。

皮褶厚度测量法

价值从 0~500 美元不等的皮褶厚度计被用于测量脂肪层的双重厚度。据估算，脂肪层（又称为皮下脂肪）约占人体体脂总重量的 50%。因此，若能准确测定皮下脂肪，就可以预测整体的体脂水平。通过皮褶厚度测量值推算体成分的常用预测公式，是以水密度计量法所测定的体成分数据为基础建立的。其原理如下：采用水下称重法测定一组受试者的体脂百分数，同时测定受试者的皮褶厚度，并使用统计学方法对其推算以获得由水密度计量法测定的体脂百分数。如果将皮褶厚度值套入新的公式，可预测水密度计量法的测定值，就可以得出预测体脂百分数的皮褶厚度公式。

一般人群有很多不同的推算公式，其中有些为运动员专用公式。一般情况下，评价特定人群时使用相应人群的特定公式可以获得更为准确的测试结果。此外，公式中皮褶厚度的测量点越多，其测试结果通常越精确。例如，一个公式中可能包括身高、体重、年龄、肱三头肌皮褶厚度、腹部皮褶厚度，另一个公式中可能包括身高、体重、年龄、肱三头肌、肩胛下、腋中线、髂腰肌、腹部、大腿中部的皮褶厚度。

在此我们将讨论一下用于预测体脂百分数的皮褶厚度公式中的数据。很多用于运动员的公式实际上也用于一般人群（即非运动员）。由于很多运动员往往比一般人瘦，使用皮褶厚度公式所推算的体脂百分数值往往低得难以置信。当很多运动员来到实验室说他们的体脂百分数为 2%或 3%，我马上意识到这些数值来自于公式推算的结果，没有进行运动员正常化处理。很简单，他们的体脂百分数不可能如此之低。当这些运动员通过一个更为现实的评估方法（使用更好、更适合特定人群的公式或更为精确的技术），得到一个新的评估结果（通常在 8%~18%之间）时，他们通常会比较失望。使用皮褶厚度公式推算得出的值不一定非常准确，认识到这一点十分重要。然而，当采用相同的技术和相同的公式获得第二个数据时，先前得到的数据可作为评估纵向变化的基线，采用

不同方法和公式获得的数据间进行比较则毫无意义。

生物电阻抗分析法（BIA）

如果你在游泳池里时听到附近有雷声，知道应该采取何种措施避免雷击，说明你已了解生物电阻抗分析法（BIA）的相关原理。水是电的良好导体，体内大部分水分分布在瘦体重中。脂肪中几乎没有水分，是电的不良导体，会阻碍电流。生物电阻抗法的设备有两种基本模式：一种是受试者仰卧，右手腕和右脚踝处缚上电极，电流从右手腕通至右脚踝。另一种是受试者赤足站立在平台上，电流从右脚流入，上升至右腿，流向左腿，从左脚流出。不论使用哪一种生物电阻抗仪器，其原理均一样。如果已获知进入人体时的能量（电）水平，并可测量出流出人体时的能量水平，可计算出被阻碍的能量水平。由于肌肉是电的良好导体（肌肉中含水和电解质），而脂肪是电的绝缘体，被阻碍的电流越多，则脂肪含量越高。如果输入电流为 100 单位，流出电流为 80 单位的受试者体内水分和肌肉的含量要高于流出电流为 60 单位的受试者。

当然，在预测时有必要考虑诸多调节因素。例如，电流在身高较高的人体内通过的距离更长，因此身高较高的人受到的阻抗力当然更大。体重身高比也非常重要，可帮助预测电流在体内通过的距离和所经过组织的成分。由于体成分往往随着年龄而改变（随着年龄的增长，人体肌肉组织逐渐减少而体脂逐渐增加），年龄也是体成分的重要预测因素之一。青少年发育突增期阶段，男性和女性体成分开始出现差异，与男性相比女性的体脂含量更高，因此性别也是重要的相关预测因素。因此，在使用 BIA 预测体脂百分数的公式中，应包括年龄、身高、体重和性别这些变量。

尽管 BIA 有非常好的理论基础得以很好地预测体成分，但为了获得更为精确、具有重复性的测试结果必须遵循一些重要规程。由于该方法基于穿过瘦体重的导电率，受试者的水合状态可影响测试结果。如果 BIA 测试中受试者水合状态不佳，则电流在肌肉组织的传导不良，则所测得的受试者体脂含量可能比实际值偏高。因此受试者在测试时处于良好的水合状态非常重要。通常，在 BIA 测试前 24 小时内饮酒、训练、饮用大量咖啡、长时间处于湿热环境中均可能引起严重的脱水，从而影响测试结果的准确性。运动员往往连续数日训练，则该方法所获得的体脂含量值可能高于实际值。因此使用该技术进行测试，应安排在运动员休息一天后并确保处于良好水合状态时。观察尿液是否澄清是检测水合状态的便捷方式，尿液越澄清，水合状态越好。

双能量 X 射线吸收测定法（DEXA）

双能量 X 射线吸收测定法（DEXA）是最先进、最精确、最昂贵的体成分测定方法，通常被视为当前体成分测定的黄金标准。通过对运动员进行全身扫描所获得的数据非常有价值，包括骨密度、体脂百分数、瘦体重和上肢、躯干、下肢脂肪和肌肉组织的分布。DEXA 的结果甚至可提供左侧和右侧身体瘦体重和体脂含量的差别。这些信息，对于希望提高体型对称性或由于运动项目特点要求两侧躯体能够均衡发力的运动员而言尤为重要。

DEXA 通过将两束 X 射线穿过受试者，测量 X 射线穿过的组织对 X 射线的吸收总量来进行测定。一束是高强度射线，一束是低强度射线，所以每束射线的相对吸收率可反映所扫描组织的密度。组织的密度越高，X 射线强度的下降幅度越明显。不要被所讨论的穿过身体的 X 射线束所吓倒，事实上，DEXA 测试中的辐射总量非常低。进行大约 800 次全身 DEXA 扫描的总辐射量相当于拍摄一次标准 X 光胸片。实际上正是由于 DEXA 的辐射水平很低，才能通过 FDA 批准，作为预测体成分的扫描仪器。通常 X 射线仪器由于释放的辐射量较高常作为诊断仪器，而 DEXA 则不存在这样的问题。

DEXA 最初用于测定骨密度，其测试过程十分简单。受试者在 DEXA 台上仰卧大约 20 分钟，铅笔形 X 射线束对其进行扫描，受试者上方的机械臂对其进行解析。由于金属密度非常高，受试者被要求除去所有饰品，穿着不含金属的衣物。扫描所获得的测试结果数值将转换为骨、肌肉和脂肪组织的密度值。由于该密度值是通过直接评估组织密度所得，这是我们直接评估组织密度（除外科手术外）最为准确的方法。在有 DEXA 设备的实验室，进行全身扫描的费用通常在 100~250 美元之间。

体成分的变化

体成分会发生变化。我们可通过控制饮食和运动方式影响体成分的变化。去脂体重（包括骨组织）的一般原则："不用则失。"人是具有良好适应性的生物，可快速适应所处环境和活动。例如，在太空中宇航员的骨质会迅速软化，是由于外太空的失重环境削弱了对强壮骨质的要求。我们在那样的环境中也能表现良好，看起来就像水母似的，骨骼释放大量的钙以达到快速适应。这样的环境影响如此之大，以至于宇航员必须花费大量时间进行骨骼施压训练。由于我们有很强的适应性，即便是在失重环境中，这类有意识的骨骼施压也可以帮助保持骨骼强壮。当人们因伤卧床休息时也会发生类似的情况。卧床休息时几乎不动用骨骼和肌肉组织，它们将快速下降。切记，我们身体的组织是动态的，会根据当前环境需要进行调整。即便是看似坚硬如石、不具有适应性的骨骼，实际上非常活跃，总是不断地发生着改变。矿物质不断摄入、丢失的过程促使骨骼的不断重塑。

体成分的影响因素可归结为以下几方面：

- **遗传因素** 这是每个人的底线，无论多么努力都无法改变。每个人遗传体型不同，在脂肪积累多或少的问题上，每一种体型都有其不同的自身倾向因素。矮胖型者（躯干较大、手指和腿较短）具有高体脂百分数的倾向，外胚型体型者（腿和手指长、躯干较短）身形修长，体脂较低。与生俱来的体质无法改变，所要做的是物尽其能。
- **年龄** 30 岁后人们的肌肉量逐渐下降，脂肪量逐渐增加。尽管体成分与年龄相关的变化非常常见，但并非必然。实践证实，良好的饮食和规律的运动可保持良好的肌肉状态。30 岁之后，能量代谢每 10 年大约下降 2%，将越来越难以保持理想的体重和体成分。要想保持现有体重和体成分，在 30 岁之后的每 10 年，必须逐渐增加 2%的能量消耗或减少 2%的能量摄入，以弥补能量代谢的下降。尽管 2%的差异看似非常微小，

但却会对体成分产生重大影响。以平均每人每天消耗2500千卡的热量为例，如果在此基础上你需要降低2%的能量摄入但却没有降低，每天将出现50千卡的过剩能量。该数值乘以365天，则每年有18250千卡的过剩能量。3500千卡的过剩能量可增加0.45公斤体重，每天50千卡的过剩能量，一年后将增加超过2.25公斤的体重。5年后，将增加25磅（11.5公斤）体重，10年将增加多达50磅（23公斤）的体重。

- **性别** 在其他因素均等的前提下，女性体脂含量高于男性。这是不可改变的，也不存在不良影响。性别差异是男性和女性生理预期不同的佐证。但也有很多女性由于运动量更大，饮食较好，其体脂百分数低于一些男性。因此，不考虑性别这一基本差异，通过正确的途径可优化体成分以适应项目需要。
- **运动类型** 不同运动项目对身体的刺激不同，身体的应激反应也有所不同。有氧运动是降低体脂百分数的常规运动。然而，有研究证实任何形式的运动（包括无氧运动），都能降低体脂百分数。高强度运动（如短跑和举重）可以提高瘦体重，降低体脂百分数，因此对体重的影响不明显。由于相同重量的脂肪所占体积比肌肉多，因此体成分的改变可使人看上去更为纤细。另一方面，低强度运动在降低体脂百分数的同时对瘦体重影响甚微，因此体重会减轻。当能量消耗（热量燃烧）相同时，无氧运动和有氧运动降低的体脂含量相同。
- **运动量** 显然，运动越多，越有利于体成分的正向转变。不过，必须摄入充足的能量来支持运动。延长运动时间而不增加能量摄入的总量，会引起肌肉组织的分解以满足能量消耗的需求。毫无疑问，此原因引起的体成分改变绝非运动员所愿。此外，过度训练尽管不一定会引起瘦体重的下降，但会增加肌肉的酸痛，降低肌肉力量和耐力。因此，运动量应与充足的能量摄入和休息保持平衡，以维持肌肉组织，确保运动员的状态。
- **营养** 进食过多或过少都可对体成分产生负面影响。无论是在日常或是某一次进食过多，都可能提高脂肪储备；进食过少会降低瘦体重（肌肉）和脂肪组织。此外，一些营养素对新陈代谢过程至关重要。这些营养素（B族维生素、锌、铁等）摄入水平不足将降低机体正常消耗能量的能力，从而限制机体通过运动消耗脂肪的能力。

体成分评估研究

体成分已成为运动员评估的重要组成部分。肌肉和脂肪的总量可预测运动状态，骨质评估对于了解运动员是否存在发育问题，或目前及将来是否面临骨折风险十分重要。定期的体成分评估可帮助运动员了解是否达到了预期的训练效果。不过，在评估体成分时需注意一些重要事宜。

可通过调整饮食和运动改变体成分，但在此过程中，要综合考虑饮食和运动这两方面。任何一方面的显著改变都可能对体成分带来不可预知的问题。如果增加训练计划安排，必须提高能量摄入以满足增加的能量消耗。运动量增加时，如果保持或减少能量摄入，则会使机体处于能量严重缺乏的状态，在这种情况下可能会引起代谢率降低、脂肪

储备增加、肌肉分解以提供机体所需能量。进食过多也可能增加脂肪的储备。最好的方法是全天保持稳定的能量摄入，使运动员可获得足够的能量补充以维持训练，而不是在一天结束时一次性补充所缺乏的能量。

运动员常常将自身的体成分数据与其他运动员比较，但是这样的对比毫无意义，可能还会促使运动员为了改变体成分而采用一些对其状态和健康产生负面影响的方式。获得体成分数据的相关健康专业人士应具备对相关信息保密性的敏感度。他们应该向每一个运动员解释，身高、年龄、性别的不同均可能影响体成分的结果，但并不影响运动能力。为了保护运动员隐私并帮助其了解相关信息的测试背景，应采取以下策略：

- 每次仅评估一名运动员，并限制数据共享的机会。
- 告知运动员体成分信息时，使用类似“在理想范围内”的表达方式，而不是原始数据，比如“你的体脂百分数水平为 18%”。
- 应告知运动员前后测试的变化而非提供目前的数值。
- 提高对肌肉组织的关注度，降低对体脂的关注。
- 在解释客观测定的运动能力变化时，使用体成分数据作为解释方法之一。

不同的评估体成分方法有不同的标准结果。因此，将一种测试方法的结果与其他测试方法所得结果进行比较是不恰当的。如果运动员需要进行多次体成分测试以观察其体成分变化（体成分评估用途之一），只有在整个评估过程中使用同一测试方法才能进行这样的对比。例如，间隔数月的两次 DEXA 扫描可提供个体体成分变化的有效信息，两次皮褶厚度测量法的差值亦可获得此信息。然而，DEXA 扫描法获得的体成分数据和一次皮褶厚度公式法获得的数据间的差值，对于评估体成分的变化毫无用处。即便采用同种方法，也要使用相同的预测公式，才能有效评估运动员的体成分在多次测试之间是否有所变化。

很多运动员希望体脂水平越低越好。运动员往往试图寻求达到不可能的体脂水平（极低，与运动项目要求以及自身体脂因素无关），这将提高患病几率，增加受伤风险，延长运动员伤后重返训练所需时间，降低运动能力，增加发生饮食紊乱的风险。体成分数据应视为运动项目连续追踪体系中的数据之一。如果一名运动员始终处于该连续追踪体系之中，会发现除了体成分，还有其他因素（例如训练、技术的获得）更适合作为运动状态良好与否的主要预测指标。

在那些对体重问题较为关注的运动项目中，追求过低体脂百分数水平或体重是争论的焦点之一。摔跤运动员为了提高竞争力，会冒险采取一些危险的、甚至可能致死的方法，以降低体脂百分数水平和体重。关于摔跤项目的更多信息，详见本书第 13 章（第 208 页）。

经常进行评估的运动员（定期称重或是测量皮褶厚度），对于测试结果十分担心，担心因此受到惩罚（十分常见但并不适宜）。体成分的真正改变十分缓慢，因此没有必要每月或每两周，甚至每周进行测试。对于测定和监测体成分的变化，每年 2~4 次的体成分测试频率较为适宜。当运动员处于受伤或患病这些特殊情况下，例如吸收障碍、发烧、痢疾或厌食症等，医生建议增加测试频率以控制瘦体重的改变是合理的。监测体重

或体成分数值过于频繁（如每周或每月）的教练员，应将他们的注意力转移到更为客观的体能状态评估上。

运动员病理状态下的体重控制：饮食紊乱

与普通人群相比，运动员是否更易出现饮食紊乱尚不清楚。针对运动员和非运动员的一项研究认为，饮食紊乱发生率的升高与是否为运动员无关 [2]。对不同种族女子青少年运动员与非运动员相关研究的结果亦如此，运动员出现饮食紊乱的风险并未增加 [10]。该研究还发现，西班牙语系和高加索的城市女子青少年发生饮食紊乱的风险高于非裔美国城市女子青少年。然而，在注重体型和有体重要求的运动项目中，运动员出现饮食紊乱的几率显然更高，且女子运动员高于男子运动员 [11]。

男性和女性体操运动员在青春期的发育明显不同，这些差异与能量摄入是否充足有关。尽管女子体操运动员往往月经初潮时间延迟、生长发育迟缓，但男子体操运动员的发育模式则较为正常 [12]。在对英国女子花样游泳运动员（一项十分重视体型的主观评分项目）的研究中发现，该项目运动员几乎未出现与饮食紊乱相关的月经不调。参加研究的 23 名国家队运动员中无一人出现闭经，其中仅有 3 人月经过少 [13]。

传统观点认为，饮食紊乱是遗传、社会和心理因素共同作用的结果。然而，对于运动员而言，引起饮食紊乱的另一重要因素是希望表现出更好的竞技状态。达到理想的体重和体成分，对于高水平的运动状态而言至关重要，很多运动员往往严格限制其能量摄入。运动员，尤其是女运动员，常常限制能量摄入。在对大学男子运动员和女子运动员的一项研究中发现，23%的男运动员和 62%的女运动员为了减轻体重而造成能量摄入不足 [14]。然而，由于限制饮食降低了能量代谢率，运动员难以在正常饮食时保持体重不增长，进而迫使他们不得不逐渐降低能量摄入，最终导致饮食紊乱。

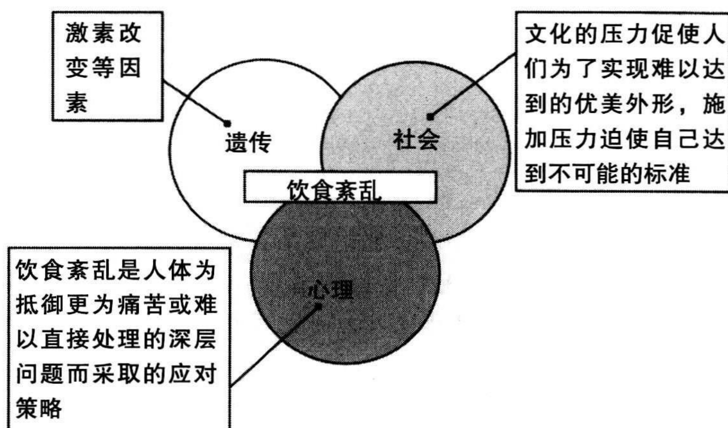


图 12.5 传统观点中导致饮食紊乱的各种原因。

运动员中最为常见的饮食紊乱包括神经性厌食、暴食以及运动性厌食，在女运动员中，这些情况通常表现为骨密度偏低和闭经，被称之为女运动员三联征。运动员和教练员应该对以下的饮食紊乱先兆保持警惕，包括[15]：

- 过分关注食物
- 过分关注体重
- 频繁地关注是否长胖
- 频繁批评队友的饮食方式
- 饭中或饭后去浴室
- 抱怨觉得冷
- 服用缓泻药
- 常常独自进食
- 在常规训练之外进行额外训练

神经性厌食和运动性厌食

神经性厌食和运动性厌食的典型表现是由于害怕长胖而限制饮食，从而导致体重下降，严重危害运动员的健康。个别运动性厌食患者可能会有不正常的运动模式，包括在受伤时依然想参加运动，正常训练计划外的强迫性运动（表 12.4）。

表 12.4 运动性厌食症的标准

体重减轻 >5%的预期体重	极度害怕变胖
青春期延迟（16 岁时仍未有月经初潮–原发性闭经）	限制热量摄入（饮食<1200 千卡）
月经失调（闭经或月经过少）	催泻方法的使用（催吐、缓泻剂、利尿剂）
胃肠道功能紊乱	暴食
非病原性紊乱	强迫性运动
为体型所困扰	

Adapted, by permission, from J. Snudgot-Borgen, 1994, "Risk factors for the development of eating disorders in female elite athletes," *Med Sci Sport Exerc* 26(4): 414-419.

限制热量摄入的厌食与低骨密度相关，在青少年发育期不能达到理想骨密度峰值，会增加发生应力性骨折的风险[16]。厌食所引起的相关症状十分严重，有报道称神经性厌食的死亡率高达 18%，其中多由于液体和电解质异常或自杀[17, 18]（详见图 12.6 能量缺乏和饮食紊乱之间可能的相关因素）。激素替代疗法（例如，雌激素替代疗法）是治疗闭经后遗症的一种疗法，这种治疗要么降低运动强度和运动持续时间，要么增加热量的摄入，或者两种方法同时进行，促使确诊患有该症状的运动员恢复到能量平衡的状态。为了成功达到这一目的，运动员必须充分理解，合理饮食可在促进肌肉组织增长的同时降低脂肪组织的生成，促进其状态和体型的优化[19]。对于运动员而言，充分理解希望达到“纤细瘦弱”和需要成为“瘦而健康”之间的区别十分重要。

神经性暴食

神经性暴食的症状表现为强制性暴食，患病期间患者进食大量食物，随后采取呕吐或使用缓泻剂的方法清除所摄入的食物。神经性暴食的暴食-清除的循环模式，常常被称之为“暴食-清除综合症”。这些运动员通常体重正常或接近正常体重，因此比那些患有神经性厌食的运动员更难以确诊。症状包括牙齿和牙龈的腐蚀（呕吐造成的经常性胃酸接触）、浮肿、电解质异常、脱水、抑郁、频繁排泄[11]。

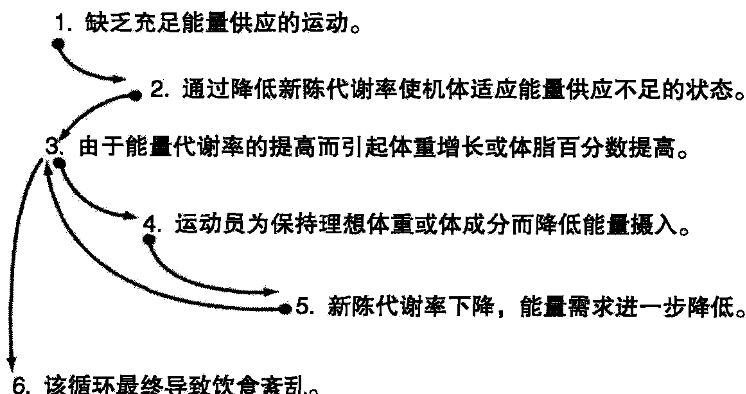


图 12.6 能量缺乏和饮食紊乱之间可能的相关因素。

Reprinted, by permission, from D. Benardot and W.R. Thompson, 1999, "Energy: The importance of getting enough and getting it on time." *ACSM's Health and Fitness Journal* 3(4): 14-18.

饮食紊乱和运动状态

尽管很多运动员最初通过减轻体重提升了运动状态，但是如果是通过大幅减少饮食而实现的体重减轻，那么所获得的提高通常只能维持很短时间。食物摄入的大幅减少使能量耗竭，是饮食紊乱的表现。与饮食紊乱相关的血浆容量下降（损伤体温调节）和糖原储备降低，可降低无氧和有氧耐力水平[20, 21]。

此外，食物摄入量过低还可能使运动员容易出现多种微量元素缺乏，降低运动能力，增加受伤风险。有证据表明，月经周期异常往往伴随着饮食紊乱。停经的女运动员骨骼中的含钙水平较低，增加了她们发生应力性骨折的风险。月经周期异常与能量负平衡、基础代谢率降低有关，通常能量代谢率降低和肌肉组织减少会导致基础代谢率的降低[22]。

体成分可帮助运动员和教练员了解训练与营养因素所带来的改变。获得体成分数据的相关健康专业人士在进行追踪监测时，应注意使用同一仪器、同一预测公式获得有效的对比数据。对于如何将体成分数据作为运动员整体训练计划的一部分加以建设性的利用应予以关注。最好能定期（每半年或每季度）监测运动员体成分以判断其瘦体重和脂

肪重量的变化。很多运动员对体脂含量十分敏感，因此，对于如何在运动员的训练计划中建设性地使用体成分数据这一问题，应予以重视。对可能存在饮食紊乱问题的运动员应及时诊断并治疗。帮助年轻运动员了解获得理想体型、体重、力量和耐力所需相关营养学知识，有利于降低将来发生饮食紊乱的风险。

第4篇

特殊能量系统的营养策略

13 高强度爆发型与力量型运动员的无氧代谢

参加力量型运动项目的运动员，如举重、链球和铅球，必须通过提高肌肉力量、速度和爆发力，从而使成功的可能性加大。爆发力的大小在于肌肉快速产生最大能量的一种功能，在很大程度上取决于IIa型和IIb型肌肉纤维的分布和训练状态。同时，该类肌纤维比I型肌纤维能同时募集得更多，并可以快速产生能量；而I型肌纤维与耐力型运动项目的关系更密切。由于力量型运动项目运动员要进行增肌训练，所以有更高的营养要求。这些运动员必须获得充足的能量，摄取增加肌肉量所需的营养物质（包括蛋白质）以用于合成代谢，并保证充足的能量供给从而使肌肉不会发生分解。另外，必须精心设计膳食方案，以满足肌肉在最大能量输出时的需求。部分力量型运动项目要求“控制体重”，而其他类型项目则重视增重。然而，体重的下降或增加应当始终以肌肉量的保持或增加为目的。本章阐述了力量型运动员为满足其参与项目的特殊要求可以采取的营养方案；无论是为提高对抗能力而增加肌肉的橄榄球队前锋，还是为比赛控制体重的摔跤运动员，都应对此予以关注。

力量型运动员的营养方案

不同方式的运动对肌肉系统具有不同的代谢要求，因此不同项目的运动员，其营养要求也有所不同。在短距离内要求运动员达到较高力量和速度水平的运动项目中，有很高的无氧成分。这些运动员对是否能在长距离长时间内快速移动并无兴趣，他们仅需在短距离内快速到达终点。在棒球运动员抢垒的4~5秒中，实际上并不要求有氧供能，当其奋力跑向下一垒时，几乎完全以磷酸肌酸和糖原的无氧代谢来供能。健美运动员需通过训练提高爆发力，但肌肉持续收缩时间几乎从不超过1.5分钟，而1.5分钟正是无氧运动的大致极限时间。

运动员通过饮食以获取最佳体能的方式也存在一个逐渐演变的过程。大约公元200年，Diogenes Laertius描述了当时希腊运动员的训练食谱，其中包括无花果干、湿乳酪和小麦制品[1]。参加1936年柏林奥运会的美国奥运会选手每日摄取的食物包括牛排、大量黄油、三个鸡蛋、蛋奶沙司、1.5升牛奶以及尽可能多的白面包、午餐小面包、新鲜蔬菜和沙拉。每届奥运会，运动员都会根据当时的营养知识选择性进食某些食物，而避免其他食物。自20世纪60年代起，人们开始对运动员的营养需求及其原因进行有针对性的科学研究。该类科学方法帮助我们更好地理解肌肉如何产生力量和速度。运动营养学也帮助我们理解了与各种运动类型相适应的不同的营养需求。如果忽略了营养需求对运动的影响，则非常有可能在训练中发生问题，并导致运动员无法发挥正常实力。

目前，我们已对无氧运动的营养需求有了充分的认识，清楚地了解到，磷酸肌酸和糖原是肌肉进行无氧运动所必需的能源物质。另外一个问题是：如何获得和维持运动员进行无氧运动时通常所需的较多的肌肉量。这一问题的答案是：增加热量摄入。除此之外，运动员还需十分注重蛋白质的摄入，以满足无氧运动对磷酸肌酸、糖原以及肌肉的需求。

无氧代谢途径

在无氧条件下，运动员具有快速获得有限能量的能力。通常，无氧占主导的运动（即在有限时间内需要最大的力量和能量）持续时间很少超过90秒，超过这一时间，无氧能量供应将消耗殆尽。在一些无氧运动（如拳击）中，每局比赛后都有一段休息时间，允许细胞为下一次的剧烈运动做准备。以下是关于无氧代谢途径的描述。

磷酸肌酸（磷酸原）系统

在无氧条件下，无氧代谢过程通过磷酸肌酸（PCr）和糖酵解为机体提供三磷酸腺苷（ATP）。肌肉中可形成ATP的磷酸肌酸的浓度为磷酸肌酸储量的25%~33%。磷酸肌

酸在肌酸激酶的作用下分解为无机磷酸盐和肌酸，并释放能量。游离无机磷酸盐与二磷酸腺苷（ADP）结合再生成三磷酸腺苷。磷酸肌酸的分解是不可逆的，直到从其他来源获得能量（主要通过氧化磷酸化过程）。磷酸肌酸的分解可在瞬间产生巨大能量。但是，由于组织中的磷酸肌酸储备有限，其产生能量的持续时间不超过 10 秒钟。磷酸肌酸分解产生的能量直接与运动强度有关，运动强度越高，越依赖于磷酸肌酸分解作为能量来源。运动员在完成 8~10 秒钟的最大强度的运动（短跑、撑竿跳、跳远）后，必须休息 2~4 分钟，使磷酸肌酸在进行下一次最大强度的运动之前进行再合成。

因为补充一水合肌酸可增加磷酸肌酸的储备，并同时提高能力和力量，因此，肌酸的使用在运动员中非常普遍。

糖酵解（糖酵解系统）

糖酵解指通过葡萄糖或糖原的无氧分解产生能量。如表 13.1 所示，在开始运动后，糖酵解系统能够为运动组织提供能量之前，存在 5~10 秒钟的延迟。六碳葡萄糖分子被磷酸化，并且分解为两个三碳分子（甘油醛-3-磷酸盐或 G3P）。G3P 转化为丙酮酸，并产生一分子的 ATP。糖酵解的反应结果为，一分子的葡萄糖产生两分子的 ATP；假如糖原是最初始的能源物的话，那么一分子的葡萄糖通过无氧糖酵解就能够产生三分子的 ATP。丙酮酸盐可以转化为乙酰辅酶 A，最后转化为脂肪储存或转化为乳酸。在任一情况下，丙酮酸转化生成的脂肪或乳酸都可以成为能源物质。如表 13.1 所示，与磷酸肌酸系统相比，糖酵解的输出功率只有其 1/2，但是其产生 ATP 的能力是其 3 倍。磷酸肌酸和糖酵解的结合可以支持大约 90 秒的最大无氧活动，这也通常被称为最大无氧能力。

表 13.1 无氧代谢系统产生三磷酸腺苷（ATP）的能力和输出功率

系统	产生 ATP 的能力（毫摩尔 ATP/ 千克）	输出功率（毫摩尔 ATP/ 千克）	延迟时间
磷酸肌酸系统	55~95	9.0	瞬间
糖酵解系统	190~300	4.5	5~10 秒
二者结合	250~370	11.0	–

Adapted, by permission, from M. Gleeson, 2000, Biochemistry of exercise. In *Nutrition in sport*, edited by R.J. Maughan (London, England: Blackwell Science), 22-23.

依赖无氧代谢的运动实例

无氧运动需要在相对较短的时间内产生最大的能量。如，一名棒球运动员挥舞球棒或跑向第一垒；又如，一名体操运动员冲向跑道完成一个跳跃。在这两种情况下，运动员动用大部分的现有能量，现有能量是有限且易于消耗的。无法想象一名棒球运动员在 30 分钟内以同样的力量和速度跑向第一垒，随后返回本垒，然后又返回到第一垒，诸如此类的反复在生理上是无法实现的。同样你也不能要求一名体操运动员反反复复地从

地面跳起而没有间断。该类运动在每次剧烈运动之后都要进行休息，属于超大强度运动，以下是具有这些特点的运动实例。

棒球

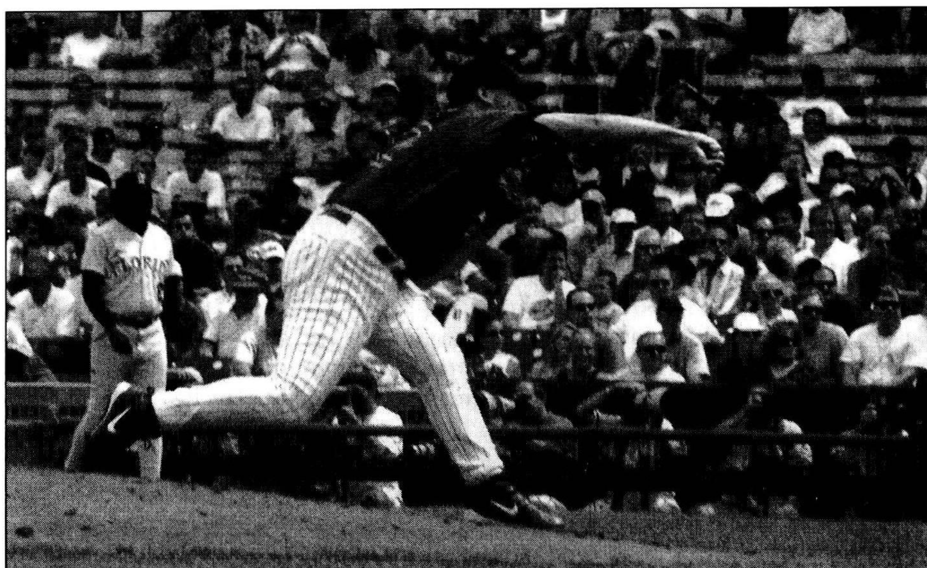
棒球是一项精彩的运动，需要团队的通力合作以及个人的努力。它还是一项高度的脑力比赛，要求运动员始终保持警惕，在瞬间作出判断以正确击球。完全可以这样说：身体上感到疲劳的棒球运动员，很可能也发生脑力疲劳（葡萄糖既是大脑又是肌肉的能源），并容易发生错误判断和体能不良。David Halberstam 在其著作《1949 年夏季》(Summer of '49)（纽约：William Morrow，1989）中描述了 1949 年红袜队与洋基队之间的比赛。该书的中心主题是：漫长的棒球赛季使运动员变得疲劳，在一定程度上，锦标赛的结果取决于在赛季末仍保持良好状态的运动员人数。很明显，在漫长的赛季中有很多因素可造成运动员的疲劳，频繁的旅行、激烈的比赛以及频繁的时差变化等[2]。其中营养因素对运动员的疲劳也有一定的影响，在漫长的夏季和秋季中不同的食物与液体会带来不同的结果。牛排和啤酒总是在食谱中，过去，很多棒球运动员食谱中常常如此。可以预测，这种饮食习惯会导致体力和精神上的疲劳，最终造成身体损害。酒精会妨碍维生素 B 的代谢（从而干扰能量代谢），并增加脱水危险；红肉可提供高质量的蛋白质、铁和锌，但不应成为棒球运动员的饮食重点。棒球运动员真正需要的是大量面食、谷物、水果和蔬菜，从而持续补充比赛中因快速、激烈的运动而消耗的糖原和碳水化合物，并提供足够的热量以维持肌肉量。棒球运动员应当谨记上述观点，并且注意下列与运动有关的营养要素。

*棒球是一项夏季运动，常常在湿热的环境中进行。*当肌肉中含有的水分超过 70% 时，才能达到最佳的水合状态，而运动员的目标就是保持这种最佳的水合状态。如果达不到最佳的水合状态将会造成体内水分的大幅减少，并导致运动能力下降。实践证明，不良的水合状态会导致大脑功能的衰弱（不良的水合作用会造成身体核心温度上升，削弱机体的协调能力）和肌肉弹性的下降（增加肌肉疲劳和运动伤害的风险），从而使运动员更易发生运动损伤。

*众所周知，在赛季后，棒球运动员（特别是投手）都有手臂最大力矩比赛季前下降的经历，*其中力量下降的原因是由于过度运动导致投球手臂损伤所造成的[3]。投掷力量下降的原因也可能是由腿部力量下降所导致，腿部力量的下降会对投掷运动产生负面的影响，并且增加受伤的风险[4]。运动员可通过优化肌肉水合状态和定期的能量摄入计划来避免上述问题[5]。

一项对棒球运动员进行的研究结果表明，体能训练在运动员维持最佳的水合状态方面起着重要的作用。在固定的运动强度下，体能状态较佳的棒球选手保持体温的能力好于体能差者，并且出汗率也较低。[6] 另一项研究发现，流向投球手手臂（在投球的时候）的血液在第 40 次投掷后达到顶峰，随后开始下降。到第 100 次投掷时，流向投球手手臂的血液低于基础值的 30%。[7] 投球手手臂的血流量减少情况与投球手肌肉水合

状态的下降情况基本一致。血流量被认定是维持运动员运动能力的一项关键因素，因此投球能力在很大程度上取决于其维持自身水合状态的能力。



棒球运动员，尤其是投手，需要不断地加强糖原储备，因为连续的比赛会消耗脑力和体力从而导致表现不佳。

由于经常暴露于湿热环境，棒球选手应注意以下维持水合状态的方法：

1. 季前赛期间，在每次比赛和训练前后分别测量自身体重，以了解在比赛和训练中体重的减轻量。然后确定在一次典型比赛中应摄取的液体量（1 品脱液体=1 磅体重，1 品脱液体=473 毫升；1 磅=454 克，大约相当于中国的 1 斤液体=1 斤体重，译者注）。其目的在于，在比赛中饮用足够的液体来维持体重（±1 磅）。不同的人具有不同的出汗率，所以你的饮水计划很可能与你队友的不同。

2. 在每次比赛前饮用大量的液体（比赛前最低为 500 毫升/小时，随后保持少量多次的补液方式）。

3. 利用局间的休息机会来补充液体。由于棒球涉及反复多次的高强度运动，糖原储备消耗极大，因此，饮用的液体应含有碳水化合物。含有 6%~7%的碳水化合物的液体是补充糖原并促进液体快速吸收的最佳饮品。

4. 比赛结束后，立即通过进食和饮水摄入足够的碳水化合物来补充糖原和水分。

5. 避免或禁止饮酒以及含咖啡因的饮料。若摄入过多的酒精或咖啡因，其利尿作用将使运动员处于水负平衡状态。

棒球要求力量与速度的结合，力量和速度均高度依赖于磷酸肌酸与碳水化合物（主要是糖原）*为肌肉供能。*磷酸肌酸由三种氨基酸（从蛋白质中获得）合成，所以摄取足量的蛋白质对确保生成足够的磷酸肌酸非常关键。然而，蛋白质摄入充足的前提条件是总能量（千卡）的摄入充足。对于发育成熟的运动员来说，获得足够的能量较为容易（棒球选手在 28 岁左右达到巅峰状态）[8]，而较年轻的选手则需要足够的能量，来支持

其运动和生长发育的需要。不恰当的能量摄入方式将导致摄取的蛋白质被作为能源消耗掉，而无法生成肌酸等物质。在能量充足的条件下，即使只有 1.2~1.7 克/公斤体重的少量蛋白质摄入，也足以支持肌酸的合成，并保持稳定的肌肉量，甚至还可以促进肌肉的增长。在能量摄入充足的前提下，棒球选手日常膳食的能量摄取比例应为：碳水化合物占总能量的 60%~65%，脂肪占 20%~25%，蛋白质占 15%。

*许多比赛在赛季进行，每周要进行数场比赛。*频繁的比赛和训练容易导致过度训练，并且引发疲劳、虚弱并增加疾病风险。防止过度训练的关键在于充分休息，并通过高糖饮食来维持肌肉的糖原水平。研究表明，每日训练或比赛会导致肌肉中的糖原储备持续减少，从而导致耐力和体能的下降。棒球选手高度依赖糖原作为能量，因此，碳水化合物摄入不足造成糖原储备减少将导致选手体能明显下降。

*一场比赛一般会持续 2~3 小时。*正常的血糖可维持约 3 小时，也就是说，从进餐完毕开始，血糖将在约 3 小时内保持较高水平，此后，血糖将降低到正常范围（80~120 毫克/100 毫升）以下，此时人体的生理感觉就表现为饥饿。在运动中，体内的血糖降低到正常范围以下的速度更快。由于血糖是维持大脑正常功能的一个重要因素，并且在运输能源物质到糖原储备已耗竭的肌肉的过程中发挥着重要作用，因此，在整场比赛中，棒球运动员应当充分利用所有的机会摄入富含碳水化合物的饮料来维持血糖水平。

*投手在投掷时比同队中的其他选手更加费力，这就是为什么投手在比赛中有效投掷只能有 3~5 场。*投手可以在每场比赛前和比赛期间，使糖原储备和肌肉水合状态达到最佳水平，以便更好地保持（腿和手臂）肌肉力量。由于比赛期间通常有数天的间歇，因此首发投手可遵循糖原储备原理（运动总量减少，高碳水化合物摄入以及适当的液体补充——详情见第 6 章）。

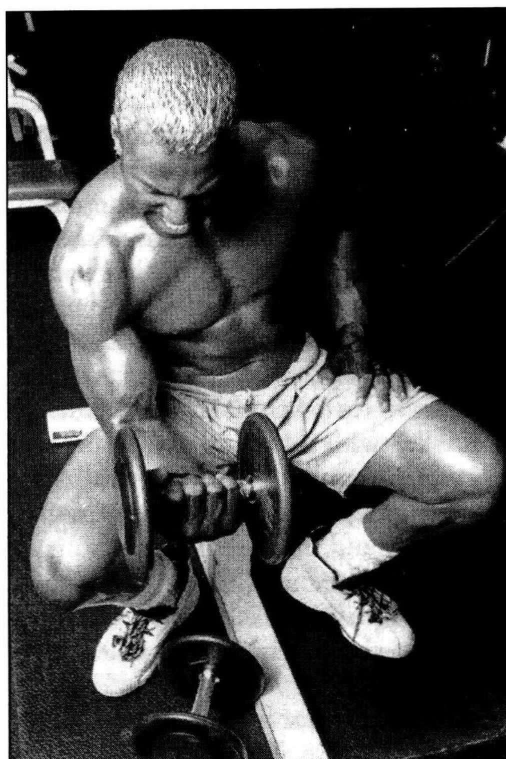
*接球手穿着装备的重量以及装备的隔热效应会增加其能量和液体的需求。*随着投手的投掷，接手处于不断的运动中，因此，接手往往比首发投手的运动更加频繁。可以这么说，在棒球运动的所有位置中，接手的能量和液体需求都是最高的。

健美

健美运动员普遍追求超高肌肉量和低体脂。健美运动要求以高水平的肌肉线条来获取高分，因此，低体脂是影响比赛表现的必要因素之一。身体脂肪中皮下脂肪所占比例超过 50%，因此高体脂水平会影响肌肉展示。为达到高水平的肌肉外形，健美运动员必须对每个肌群进行高强度的重复刺激（通常是经过自由重量和抗阻器械）。这种类型的训练不是有氧运动（长时间低肌肉用力的运动），相反，这种高强度的重复刺激，每个肌肉群运动持续时间很少超过 30 秒，而且从未曾超过 1.5 分钟。在准备比赛时，健美运动员通过上述高强度的训练和超量的能量消耗来增加肌肉量或减少脂肪量。通常情况下[9]，健美运动员的膳食富含蛋白质，此外还包括蛋白质营养补充剂和肌酸[10]。

肌肉量增加后，健美运动员将进入第二阶段的训练，该阶段以减少能量摄入为主，并结合少量的有氧训练[11]。第二阶段训练旨在降低体脂水平（尤其是皮下脂肪），使

得肌肉线条更加完美。在比赛前一周，健美运动员通常减少总能量摄入，并通过增加碳水化合物的摄入来增加肌肉的糖原储备，另外，还需大量控制体内的水分和钠盐来协助肌肉定型。在该周内，通常要限制液体和钠的摄入。据实践证明，限制液体是十分危险的，对出现低血钾和低血磷症状[12]的年轻健美运动员来说，其影响尤为严重。也有证据证明，在比赛前限制能量摄入会造成瘦体重（肌肉）丢失，从而对比赛产生负面影响[13]。



对于健美运动员来说，必须消耗额外的能量来增加肌肉量，但是同很多健美运动员的观念不同的是，消耗能量应平衡地来自于碳水化合物、脂肪和蛋白质，而不仅仅是超量地摄入蛋白质。

可能没有一项运动比健美更容易产生错误的营养观念。对健美杂志广告进行评估的一项研究指出，在这些广告中宣传其营养优势的产品，其中有42%无法提供科学依据，而仅有21%的产品有适当的资料作为支持。在拥有科学依据的产品中，也有32%的产品其市场推广方式具有误导作用[14]。对男性和女性健美运动员进行的研究发现，他们普遍存在滥用复方药的情况（比例高达40%），而且大部分健美运动员都存在严重的脱水[15]。在同一项研究中发现，女健美运动员因钙摄入极低和营养措施不当，已成为不健康的高疾病风险的群体。根据健美项目的运动特点，健美运动员必须注意以下营养因素。

*健美运动员要追求高水平的肌肉量，这一目标需要较高的能量作为支撑。*虽然增加肌肉量比保持肌肉量需要更高的蛋白质摄入，但是典型膳食中的蛋白质比例可以满足这一需求。理论上，健美运动员的蛋白质摄入量应为1.5~1.7克/公斤体重，但其前提是总能量摄入的大部分应来自碳水化合物。

对健美运动员进行的研究表明，蛋白质消耗量通常高于身体用于合成（即用于构成组织）代谢的用量，因此，过剩的蛋白质仅能作为能量物质进行燃烧，在总能量摄取过剩时，则作为脂肪储存。该研究测定显示，健美运动员的蛋白质摄入明显高于保持瘦体型的实验对象，他们还极其依赖蛋白质来满足肌肉的能量需求[16]。健美运动员普遍认为增加蛋白质摄入是增加肌肉的必备条件，但实际上，多余的蛋白质仅是提供热量的一种来源，而通过非蛋白类供能物质（如碳水化合物、脂肪）提供热量时会更加有效。增加肌肉量的关键是摄取足够的热量以支持增大的肌肉的能量需求。当前体重为180磅（82公斤）而理想体重为190磅（86公斤）的健美运动员，应当摄入足够的热量来增加肌肉量，但是，需要注意的是：在此期间，热量的增加不能仅来自于蛋白质，而是应均

衡地增加蛋白质、碳水化合物和脂肪（其中碳水化合物仍是能量的主要来源）的摄入。对成功的健美运动员的研究表明，理想的饮食应以碳水化合物为主（占总热量的 55%~60%），脂肪量相对较低（占总热量的 15%~20%），其余为蛋白质（占总热量的 25%~30%）[17]。

*健美运动员追求极低的体脂水平。*体脂百分数在很大程度上取决于个人的遗传，但也可以通过饮食和训练来加以改变。从饮食角度来看，摄取适量的能量来满足生理需要是十分重要的，而过多的能量摄入将转化为脂肪储存于体内。从饮食中摄取的脂肪是能量最集中的来源，所以，脂肪摄取过多容易产生总能量摄入过剩，并且很容易转化成脂肪储存。作为高强度肌肉的燃料，碳水化合物能更有效地燃烧，而且很少会转化成脂肪。综上所述，健美运动员的脂肪摄入应该相对较低（总热量的 15%~25%），而且，这一摄入水平稍微低于对普通人群的推荐值（脂肪热量占总热量的 30%以内）。少吃多餐也是一种有效的方法，这种方法可以通过降低胰岛素对食物的反应来抑制脂肪的生成。如果你在一次进餐中摄入 1500 千卡热量的食物，机体一次性需处理的热量过多，必然会导致一部分热量转化为脂肪进行储存。如果将 1500 千卡的食物分成两餐，每 3 小时进餐一次（每餐为 750 千卡），则能量会被更有效地处理，而不会转化为脂肪。因此，摄取适当的热量来维持能量平衡（适当的低脂饮食更易实现）以及少吃多餐，是健美运动员实现低体脂率的两个重要的方法。

*健美运动员通常要经历反复的增加体重和减体重，以便构建肌肉并降低体脂水平。*报告称，健美运动员在赛季期间平均减重 6.8 公斤，平均增重 6.3 公斤。这种循环模式使运动员对食物产生偏激行为，从而导致赛后暴饮暴食和心理应激[18]。而能够安全地构建肌肉的合理方法是：通过摄取复合碳水化合物获得适量的额外热量（当前需要量之外的 300~500 千卡）来增加肌肉量，并通过充分的肌肉训练来促进肌肉增大。

*健美运动员过分依赖于营养品、类营养品和强化剂来实现期望的体成分。*运动员普遍存在自己尝试使用强化剂和营养产品的现象，这些产品销售的目标人群主要就是健美运动员。而且，这些营养产品的安慰效应非常明显，也就是说，如果一名运动员相信某产品会帮助其实现具体的目标，那么该产品就会在该方面起一定的作用，即使该效应没有相应的生理学或生物学机理的支持，因此，这也使得问题更加复杂。理想的是，运动员应该采用有实现产品目标的生理学与生物学基础的产品和食物。如果运动员同时也相信这些产品和食物，那么就能获得更好的效果（即安慰剂效应）。

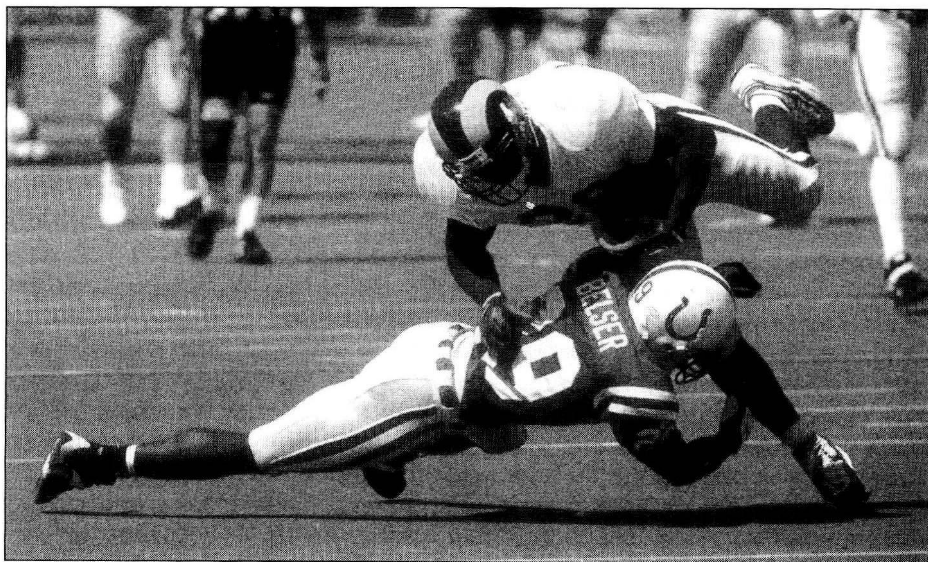
很多健美运动员依靠减少体内水分来达到理想体型的目的。然而，脱水是十分危险的（在运动员和非运动员中，每年有大量因为脱水导致死亡的事例），而且脱水会导致运动能力的下降。健美运动员拥有线条明朗的体型固然重要，但是，为此而采用脱水的方法则万万不妥，因为这可能导致器官功能的衰竭和死亡。健美运动员应该通过努力，采用合适的方法来降低体脂水平，从而获得理想的体型。所用的策略前面已经讨论。

在健美运动员中，大多数都存在营养素摄入不足的情况。过度依赖营养产品（蛋白粉和奶昔、氨基酸补充剂和一水肌酸补充剂等），并将其取代营养丰富的食物，这样会使健美运动员面临营养风险。摄入能提供足够能量（热量）的低脂肪、高碳水化合物和

适当蛋白质的食物，可以保证良好的营养摄入。过度依赖于营养补充剂会使非必需的蛋白质摄入过高，而且无法满足运动员膳食中最缺乏的营养素的补充。而盲目地服用个别维生素和矿物补充剂也不是一种有效的营养补充措施，因为很少有运动员能够了解自身最需要的营养物质。因此，摄入各种各样的食物才是最佳的方法，可确保运动员获得所需的各种营养素，而营养补充剂仅在无法摄入足够的能量物质或营养素的情况下才能发挥作用。

橄榄球（美国）

橄榄球是典型的无氧运动，持续运动时间很少超过 15 秒，并且每场比赛期间都有休息时间。但是，在比赛时，球员需要发挥最大的能力来传球或阻止对方传球。橄榄球运动员还要佩戴较重的护具，这又增加了额外的能量需求。在该项运动中，最需要的能源是磷酸肌酸和肌糖原，在传统的赛前餐“牛排加土豆”中，牛排含有过高的蛋白质，而土豆中的碳水化合物不是餐食的重点，因此无法使肌肉糖原储备达到理想的最佳水平。所以，需要对橄榄球运动员进行营养教育，特别是膳食补充剂的使用。对大学橄榄球运动员进行的研究[19]发现，补充一水肌酸可增强体能，提高举重量和反复冲刺能力；另有其他相关研究[20]发现，补充一水肌酸对于增强最大推力和最大力量非常有用[21]。但是，在开始进行强化剂补充之前，应该仔细参阅该研究和其他研究的调查结果，因为这些研究中并未评估研究对象的总能量摄入是否充分。因此，我们并不能肯定，在总能量摄入充足的情况下，补充肌酸是否有效。对长期补充肌酸的安全性进行评估的研究结果显示，在不服用其他补充剂的情况下，补充一水肌酸不会对肾或肝功能造成长期伤害[22]。



橄榄球运动的间歇性无氧特性使其更要求严格监控运动员在橄榄球运动场内外的液体摄取和液体丢失。

在另一项评估营养补充剂对体能影响的研究中发现，实验组（连续服用9个星期的吡啶甲酸铬补充剂的橄榄球运动员），与对照组（未服用该类补充剂的橄榄球运动员）相比，实验组的身体成分或力量并无明显改善[23]。

橄榄球的断续性，即比赛过程中最大强度运动和停歇交替，同样也会导致身体水分的大量流失。体液流失可能对降温能力、运动能力和注意力造成负面影响[24]。对橄榄球运动员消耗碳水化合物饮料进行的研究结果表明，与水相比，这些饮料可以更好地维持血浆容量[25]。维持血浆容量与运动能力有很大关系，因此，橄榄球运动员应摄取充分而适当的运动饮料以维持耐力和体能。在比赛和训练的前、中、后，足够的液体摄入应成为训练体系的重要组成部分。

不同层次和水平的橄榄球运动员都在逐年变得更加强壮，与其他项目男运动员比较，橄榄球运动员具有相对更壮的外形[26]。在1963—1971年以及1972—1989年对全美高中橄榄球队的调查中，发现70年代和80年代的运动员的体重指数明显增加（无更早的数据）[27]。换言之，橄榄球运动员的体重增加速度（相对于他们的身高而言）高于1963年之前的运动员。

增重对于橄榄球运动员而言可能并不是件好事。一项研究发现，体脂百分数和体重指数较高的橄榄球防线上的球员下肢受伤比率相对较高[28]。另一项研究发现，体脂百分数较高的橄榄球运动员的运动伤害风险是体脂百分数较低的球员的2.5倍[29]。另外，也有研究意外地发现，少年橄榄球运动员的肥胖率较高。由于男运动员的体型与体脂百分数成反比（即体脂百分数越高体型越差），因此，帮助运动员了解如何适当增加体重显得至关重要[30]。总而言之，这些研究结果都指出，橄榄球运动员应注意增加瘦体重（肌肉），而非简单地增加体重。

许多人会质疑当前运动员体型变大的原因，是因为挑选运动员时以体型较大者优先，还是因为营养改善的因素，或者是增加了甾体激素的使用？当然，这些原因都可能导致体重指数增加。橄榄球运动员比其他项目运动员的饮食更好。对初中和高中橄榄球运动员进行的一项研究发现，一般说来，他们的营养和能量摄取好于同龄美国男孩[31]，他们的能量摄取尽管常常低于其他运动项目的推荐水平，但能满足大约94%的橄榄球项目的能量需求。锌是橄榄球运动员最缺乏的营养素。对橄榄球运动员进行的另一项研究指出，缺锌可能对最大运动负荷产生负面影响。红肉是获取锌的最佳途径，因此橄榄球运动员应该有规律地进食肉类。但是，肉类摄取不应影响或替代碳水化合物的摄取量，因为碳水化合物对于维持断续性的运动（无氧运动）的体能也十分重要。素食者缺锌的风险较高，所以应该通过专业医疗人员对他们进行评估以确定其是否需要补锌。

体重下降通常是体重较轻的橄榄球运动员面临的问题。那些必须把体重保持在适合于此项运动的体重阈值以下的运动员，通常会采用不健康的饮食模式。一项研究显示，20%的运动员认为，他们频繁的体重控制会影响他们的思考和其他活动；42%的运动员采用导致机能障碍的饮食模式。接受调查的运动员中，几乎有10%具有“暴饮-暴食-暴泄”的饮食行为[32]。

和其他职业运动员一样，时区改变可能使橄榄球运动员产生不同的体能表现。比

如，如果在夜间进行比赛，西部球队比东部球队和中部时区球队具有明显的优势[33]。对于西部球队来说，在夜间比赛和其他球队在清晨比赛的感觉一样。如果与中部时区附近的球队和东部球队进行比赛，西部球队的获胜率分别为75%和68%，并且在客场比赛时仍然保持较高的获胜率（大约68%）。这些数据明确指出，跨时区比赛的橄榄球运动员应该采取任何可行的措施，以恢复正常的生理节律。运动员可以采取的积极措施，通常是在旅行途中采取少食多餐的饮食模式，并摄取大量液体。针对其运动特点，橄榄球运动员必须注意以下营养因素。

*橄榄球要求高强度、短时内高速度以及高频率。*橄榄球运动员在比赛过程中，要求反复进行高强度运动，并以休息时间为间歇。该运动要求用高碳水化合物水平来适当地补充肌肉的能量消耗。因此，橄榄球运动员在参加比赛时需要使肌糖原储备达到峰值。但是，肌糖原储备达到峰值的时间并不足以维持整场比赛，因而不得不消耗特定肌群中的肌糖原。因此，橄榄球运动员应充分利用各种机会在比赛休息阶段摄取碳水化合物饮料。

*体形庞大球员要求更大的体重。*尽管更大的体重会给球员带来明显的优势，但是，快速移动的能力同样重要。因此，球员应该争取更高的肌肉水平，而不是单纯地增加体重。为达到此目的，饮食消耗应在满足能量需求的基础上增加300~500卡热量，保持较低的脂肪摄入（低于总热量的25%）以及适当的蛋白质摄入（总热量的12%~15%或者约1.5克/公斤体重）。这样的饮食模式和增加肌肉的训练可以帮助增加肌肉量。通过摄取高脂肪的食物可增加总能量摄入，能够大幅增加脂肪储备（以及脂肪体重），但是脂肪并不能增加力量。因此，脂肪食物可能对力量–体重比值产生负面影响，使球员难以快速且有力地在场上移动。

*后卫防守和传球接球要求更高的灵敏、速度和快速反应时间。*高速和灵敏要求球员达到相对较低的体脂水平。因此，橄榄球运动员的饮食模式应该限制脂肪储备（即少吃多餐，以碳水化合物为主，同时控制脂肪摄入）。比赛中重复40码冲刺接球（或防守）长传会快速消耗肌糖原储备，因此，球员需要在比赛规定休息时摄取富含碳水化合物的饮料。在湿热环境中，摄取这些饮料同样可以保持理想的水合状态。

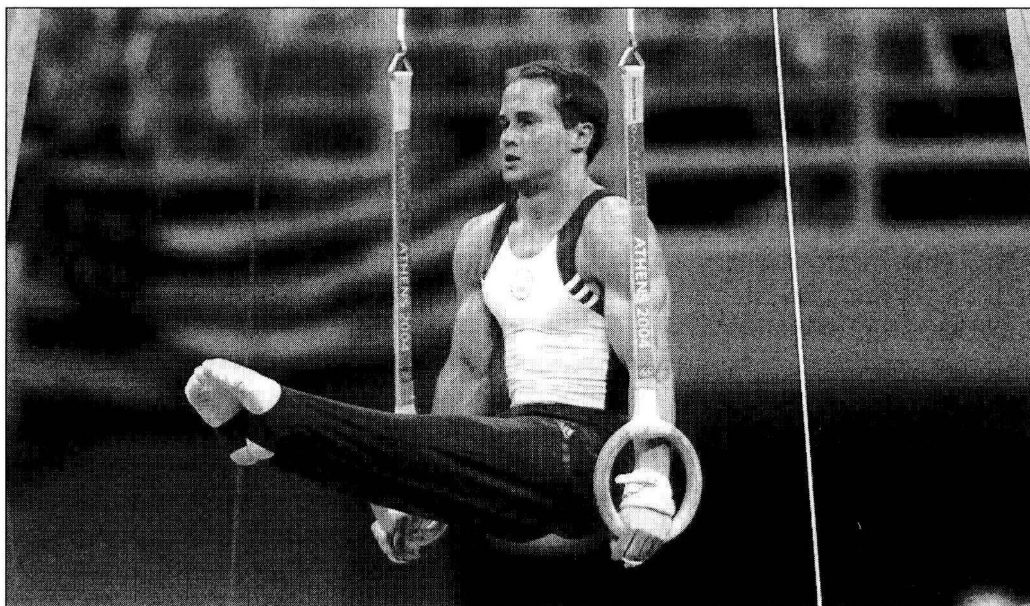
*穿戴护具（比如护垫和头盔）进行高强度重复运动将造成大量的汗液丢失。*可对因汗液丢失的水分进行补充，以保持最佳体能。因此，摄取含有6%~7%碳水化合物的运动饮料，对于维持体内水分并补充碳水化合物非常有效。据估测，运动员普遍容易处于“自发脱水”状态，因而，非常有必要制订一个使橄榄球运动员在比赛中每个可能的休息时间有意识地补充液体的饮水计划。

体操

低龄体操运动员的人数正在不断增加，监测他们的生长发育、体重、骨骼、饮食习惯等运动员生长发育的相关因素尤其重要。体操运动中，体型较小的运动员似乎已成为标准，而且体操运动员通常也认为娇小的体型较为理想。无论体操准则对运动员体形是

如何要求的，体重已经成为体操运动中影响最大的因素。甚至连男体操运动员想要获得成功，也要通过控制能量摄入以获得较低的体重[34]。但是，正在发育中的儿童应有正常的体重增长。许多低龄运动员没有认识到这一事实，他们试图通过不健康的方法来实现较低的体重。研究结果表明，女体操运动员青春期延迟和发育延迟的最大原因是热量摄入不足[35, 36]。此外，热量摄入不足还会影响营养素的摄入，女体操运动员本身就有较高的患缺铁性贫血的风险，营养素摄入不足会影响其健康和体能状态[37]。因此，虽然减少脂肪摄入可降低体重，并可降低关节损伤的风险，但是试图通过不正确的方法降低体重，依然会使体操运动员面临健康危害[38]。

高水平的体操分为四个单独的比赛项目，包括男子竞技体操、女子竞技体操、女子艺术体操和女子团体艺术体操。尽管优秀体操运动员进行体操训练的总时间很长（达30小时/周），但是用于体能和技术训练的实际时间其实相当少。体操训练以拉伸练习开始，接着在地毯上进行一系列的基础技能运动作为热身活动。热身后，每个体操运动员开始轮流进行单项练习。进行技能训练的时间绝对不能超过比赛的最长时间，并且通常只能是一个很小的片段。因为体操训练包括高强度、短时活动的反复练习，体操运动员需要在每个训练间隙充分休息，以便再生力量（即产生磷酸肌酸）。除艺术体操的团体比赛外，这些项目中没有超过90秒的单项运动。这种最大强度和短时间的训练模式使体操运动归类为高强度无氧运动。



男子体操运动员，和其女性队友一样，在训练中获得强壮且精瘦的体型时同样会有热量、铁、钙摄取不足的风险。

作为无氧运动，体操运动主要依赖IIb型（绝对快速收缩）和IIa型（中间型快速收缩）肌肉纤维[39]。这些纤维可以做最大功，但是通常不能持续90秒以上。II型纤

维具有较低的氧化代谢能力，可在体操运动中限制脂肪作为供能底物，该纤维的毛细血管血供较差，这在高强度运动过程中将会影响到营养素、氧和二氧化碳的交换。由于这些因素，体操运动在很大程度上依赖于磷酸肌酸和碳水化合物（葡萄糖和糖原）的供能。

对优秀体操运动员的营养摄入的评估研究发现，他们大多存在热量、铁和钙摄入不足的情况[40-42]。大运动量的体操训练和营养摄入不足可能是许多年轻体操运动员发生原发性闭经的原因，而且也可能导致年长运动员发生继发性闭经。

钙摄入不足会导致骨骼发育不良，并增加应力性骨折的风险，而铁摄入不足则会引发贫血，是导致闭经的危险因素之一（表 13.2）[43]。

表 13.2　闭经定义

原发性闭经	**若 18 岁或 18 岁以上的成年女性从来没有月经（月经延期），可被诊断为患有原发性闭经**
继发性闭经	**过去有过月经，但是在最近一段时间（几个月甚至几年）没有行经的女性，可被诊断为继发性闭经**

请记住，体操运动员必须注意以下与营养相关的因素。

*体操运动员要进行高难度翻滚和特技表演，这些对于体型较小的人来说较容易完成。*正因如此，艺术体操运动员的体型一般都较为瘦小（居于身高与年龄比值的 30 百分位），但肌肉相对非常发达（居于手臂肌肉围度的 90 百分位）。造成这一趋势的原因可能是运动的自我筛选（即只有天生较瘦小的运动员才能在竞争中存留下来，因为他们更容易获得成功）或是营养摄入不足。不管是两者兼有还是单一影响，这两个原因都有其可能性。体操运动员和体操教练员都知道，顶尖的体操运动员往往较为瘦小，因此许多人试图通过减少食物摄入来获得瘦小的体型。但这种方法存在许多弊病，其中一点是可能会延缓生长发育，导致骨骼发育不良，其结果不容小觑。过于极端的教练员或体操运动员则大量减少食物摄入，其结果是十分可怕的，甚至会导致危及生命的摄食紊乱，幸而这种情况少有发生。值得庆幸的是，大多数体操运动员的体能都表现良好，同时通过参加该项运动实现了很高的自我价值，生长发育正常并拥有了健康的家庭。

不健康的运动员无法保持竞争力，因此，所有运动员都应当注意摄入足够食物来保持健康和生长发育。体操运动员应把注意力放在优化身体成分上，而非一味地追求减轻体重。低热量饮食虽然可以减轻体重，但肌肉的减少甚至超过了脂肪的减少。肌肉损失会使体操运动员完成规定动作的能力下降，肌肉与脂肪比的持续下降还可能会导致体操运动员进一步减少食物摄入。食物摄入越来越少最终会导致摄食紊乱，并且伴随所有与此相关的危险。

*无论出发点是外形还是体能，体操运动员对于力量体重比都是很敏感的。*外形是影响技能水平的一个因素，这是不可避免的。较好的力量能使体操运动员更易完成比赛要求的动作，轻松的表现是决定成绩高低的因素之一（例如，可以使艺术体操运动员看起

来更加优美）。体操运动员需要在比赛中保持微笑，以强调其能够轻松地完成表演，但关键还在于足够的体能和力量，这都要求运动员拥有稳定的肌肉量，如此才能轻松地完成动作。

在很多国家，人们都在担心本应关注体能的体操运动员过早地开始学习技术动作。身体素质好的运动员学习技能速度较快，而且受伤风险较低。然而，极大的压力使得教练员认为，体操运动员们要不断进步，最好的办法就是让他们参加高等级比赛。实际上，在体操运动员的运动生涯中，尽早重点关注他们的体能是更为合理的途径，适当推迟特殊技能的学习，则可在稍后的技能学习上获得更佳效果。

为了增强体能，体操运动员必须消耗足够的能量和营养，来满足生长、保养和改善肌肉结构等的综合需求。体操训练应该强调的是使身体变得更强壮，同时相对地降低体脂率，而不是维持（或变成）较小的体型，而要实现这一切只能通过涵盖营养需求的训练计划。

体操运动员和许多其他女运动员月经初潮推迟，可能会影响骨骼健康。年满 16 岁还没有月经初潮的体操运动员应该去看医生以确定原因，如有必要，要进行药物治疗。导致月经推迟或闭经的原因有以下几个：

- 低体脂
- 缺铁状态
- 高生理应激
- 高心理应激
- 高皮质醇水平（皮质醇是身体产生的一种激素，用以减轻运动中产生的痛苦；运动员通常皮质醇水平较高，并影响雌激素的生成）
- 能量摄入不足

体操运动员很有可能同时受以上所有因素的影响。无论哪种原因，月经推迟都会对骨骼健康产生负面影响，增加骨质疏松的风险。为降低这一风险，体操运动员应定期评估机体铁营养状态以及体成分，确保肌肉量随着年龄增长得到维持或增加。

与花样滑冰和跳水项目不同，女体操运动员一般在 16~18 岁时达到体能状态的峰值。对运动员而言，要在如此小的年纪达到这样高的水平是非常不容易的。要达到这一目标，运动员必须在青春期快速生长发育阶段时，就投入大量的时间进行体能和技能学习。这期间的训练和生长发育结合在一起会给运动员带来巨大的营养负担，如果不进行详细规划则很难满足其需求。因此，要满足她们的生长发育、运动以及组织保养的综合需要，必须制订适当的营养计划。遵循合理营养计划的体操运动员状态更好，体能表现更佳，并能够拥有更长的运动寿命。

冰球

无论对男子还是女子，冰球都是一项激烈的高强度运动，需要运动员全力以赴。如果你曾近距离观看过冰球比赛，那么你一定会注意到，从上场到被替换下来之间，运动

员会在冰上停留约 1.5 分钟。这一规则使冰球运动员能够始终以全速进行比赛，而休息时间则满足运动员重新生成磷酸肌酸，以便返回冰上后能进行更大强度的运动。这种激烈的运动属高度无氧运动，因此很大程度上依靠磷酸肌酸和糖原的储备。冰球运动员通过改善饮食，在非赛季期间可维持体重，而在赛季则可增强无氧耐力[44]。

对瑞典优秀冰球运动员进行研究发现，滑行距离、替换上场的次数和每次替换上场的滑行时间以及滑行速度等都可以通过碳水化合物负荷来提高[45]。另一项研究也建议，通过增加碳水化合物摄入来增强冰球运动员的体能[46]。由此可以看出，冰球运动员的体能状况与肌肉糖原代谢有直接的关联。一项针对 7 位职业冰球运动员进行的研究证实了这一结论：一场比赛会消耗股四头肌中 60%的肌糖原[47]；由于冰球运动员需要进行长期的滑行练习或连续数日的比赛，有时甚至在碳水化合物摄入充足的前提下，也会发生肌糖原缺乏；而大多数冰球运动员的饮食模式为高蛋白和低碳水化合物，往往会在肌肉的无氧运动中引发能量供应不足的问题。

从高脂肪、高蛋白摄入的饮食模式转变为高碳水化合物摄入的模式并不容易，与脂肪相比，碳水化合物的热量密度较低，因而有可能导致能量摄取不足。相关实验发现，如果冰球运动员采取脂肪和蛋白质含量极低而碳水化合物含量极高的饮食模式，会造成总能量摄入不足[48]。因此，在进行饮食模式转变的过程中，必须注意总能量摄入是否能满足运动员的需求。

由于其运动特点，冰球运动员必须注意以下营养因素。

*频繁的比赛使机体对肌糖原的需求更高，需要摄取高碳水化合物的食物（占总能量摄入的 60%~65%）*来补充糖原。同时还必须考虑采取优化糖原储备的营养方法。赛前饮食应以高碳水化合物的淀粉类食物为主，如面条、马铃薯、大米、面包以及谷类食物等。水果、蔬菜和高纤维（例如高粗纤维）的食物可以增加肠内气体产生，比赛前应避免或尽量少吃。要充分利用比赛期间的每一次休息机会饮用碳水化合物饮料，以补充水分和糖原。比赛后第一个小时内的碳水化合物的补充，对于充分利用循环中的糖原合成酶是至关重要的[49]。在没有比赛或训练的时候，饮食应以含复合碳水化合物的淀粉类食物为主，而在比赛期间或比赛刚刚结束之后，则应摄入富含简单碳水化合物的糖类。

*改变饮食模式以期获得更多的碳水化合物，*可能导致总能量摄取不足。冰球运动员的调查明确显示，他们的能量摄入通常倾向于高脂肪、高蛋白和低碳水化合物的模式，而这一模式的能量供给不足以支撑冰球运动中的能量消耗。但是，由于脂肪能够提供较高的热量，因此冰球运动员更容易达到其对总热量的要求。在食物重量相等的前提下，脂肪所提供的热量（9 千卡/克）是碳水化合物（4 千卡/克）的两倍。因而，在保持饮食频率不变的情况下，将饮食模式转变为较低脂肪和较高碳水化合物时，可能会产生能量负平衡，这也会降低运动员的体能[50]。如果能量摄入不足，肌肉会发生分解代谢以保证体力活动所需的能量供应，这将会造成力量运动中体能下降。解决这一问题的方法是，在减少脂肪并增加碳水化合物摄入的同时，为运动员创造更多的进食机会，最佳饮食频率为每日六餐（早餐、上午零食、午餐、午后零食、晚餐和夜宵）。

*高强度运动导致体温快速上升，出汗率随之上升。*冰球运动员需要穿着沉重的护



虽然冰球是一项速度和力量的运动，但是，冰球运动员应在高蛋白的饮食模式中增加碳水化合物以补偿比赛期间的糖原消耗。

具，这也使他们极其容易脱水。因此，制订良好的补水方案十分必要。冰球运动员应在比赛前摄入大量的液体，在比赛期间和比赛结束之后也要利用所有机会补充液体。考虑到运动员同时需要碳水化合物和液体补充，因此，最佳方法是使运动员利用任何可能的机会饮用碳水化合物饮料。

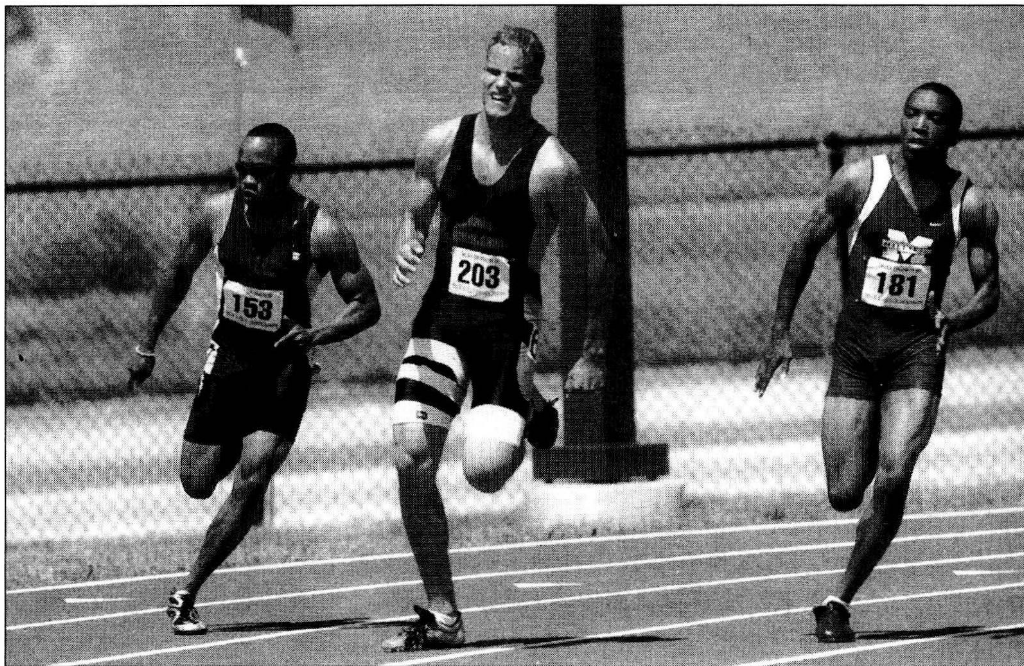
田径（短跑类、跳跃类和投掷类）

田径比赛包括大量短距离依赖无氧供能获得爆发力的项目，包括短跑类、跨栏和400米以内（含400米）的赛跑，而田赛包括短时间和最大施力的跳跃类和投掷类。有证据证明，男女短跑、跳跃和投掷运动员缺乏较好的营养习惯，主要是维生素或矿物质摄入至少有一类低于标准[51]。也有证据证明，由于能量和钙的摄入不足，田径运动员出现应力性骨折的风险很高[52]。

很少有短跑运动员超重，据此有人极力主张，对于低体脂来说不需要有氧运动。一项研究发现：高强度活动与低强度活动在减少脂肪方面的效果是相似的[53]。短跑是许多运动项目间歇性训练中的组成部分。不管是作为其他项目的辅助训练还是主要训练（如100米冲刺），短跑都具有特殊的能量要求，为了能力最佳化，这一需求必须被认识并满足。短跑类项目通常很少超过10秒钟，主要依靠磷酸肌酸和糖原供能。有充足磷酸肌酸的肌肉可支持高强度运动8~10秒，所以，大多数运动员主要依靠磷酸肌酸来维持整个短跑的能量需求。一项研究发现，补充一水肌酸可以增强肌肉储存磷酸肌酸的能

力，并增加去脂体重（如肌肉），从而提高短跑能力[54]。这与大量针对其他运动项目的研究结果是一致的[55]。碳水化合物的摄入也影响短跑的体能。一项对高、中、低碳水化合物摄入的评估研究表明，高碳水化合物摄入者的最初的冲刺能力高于低碳水化合物摄入者[56]。

在有些运动项目中，即使大多数时间都是低强度运动，但最后的“冲刺”部分却可能是决定输赢的关键因素。例如：10000 米长跑和马拉松项目的运动员几乎以匀速完成大部分路程，这一过程是有氧代谢过程。但在比赛接近尾声的时候，运动员将进入冲刺步速（即常提到的“冲刺”），此时已经超过了他或她的有氧能力。一项研究模仿这一高速有氧赛跑，并在最后进行无氧冲刺，研究发现，更高的碳水化合物摄入者表现更佳。连续 4 天后，与中等碳水化合物摄入相比，高碳水化合物的摄入能更好地维持高强度有氧运动（约 75%的最大摄氧量）及随后可进行 5 次 1 分钟冲刺跑的运动员的肌糖原水平[57]。



短跑运动员需要摄取富含碳水化合物的膳食，但不应进行任何碳水化合物负荷法，原因在于当身体储存过多糖原时，也会储存过量的水分，水的重量可能会使短跑运动员感到过重。

由于其运动项目的特点，田径运动员必须注意以下相关的营养因素。

短跑需要消耗大量磷酸肌酸和碳水化合物作为燃料。顾名思义，短跑是要求运动员以最快速度完成规定距离的短程赛跑。人体的代谢会限制其短跑的最大距离，而短跑通常不超过 1.5 分钟。在此期间内，主要依靠磷酸肌酸来供能。从理论上讲，额外摄入的肌酸（通常采用补充一水肌酸的方式）可增加磷酸肌酸的储备（更多详细信息参见本书第 4 章）。磷酸肌酸储备的增加可以使运动员全力短距离跑的次数增加，肌肉依赖磷酸

肌酸供能的最大时间也会延长。然而，由于有些研究在设计上本来就存在不足，因此运动员不能盲目追求使用肌酸的时髦。例如：某些研究没有对运动员的能量摄入的满足度进行评估。如果运动员没有充足的能量摄入，会抑制其体内的肌酸合成。这一问题可通过增加能量摄入很容易并经济地得到解决，最佳途径是从碳水化合物中摄入能量。另外，长期而频繁地摄入一水肌酸的安全性尚未得到足够的证实。

肌酸是膳食中的正常成分，肉类（牛肉、猪肉、家禽类和鱼肉）中含有大量的肌酸。因此，短跑运动员在其以碳水化合物为主的饮食中定期加入少量瘦肉是有用的。对素食者而言，更应注意摄取足够的蛋白质和热量，保障身体内部合成肌酸。然而，满足总能量摄入需求比蛋白质摄入更为重要，这样运动员才能合成足量的肌酸来维持最佳体能。

*单纯短跑的运动员使用碳水化合物填充法可能反而不利，而耐力运动员可能需要碳水化合物填充，以支持比赛结束前的“冲刺”。*短跑运动员必须在相对较短的距离内快速运动，而参与运动的肌肉量是运动速度的决定因素。力量体重指数较高的短跑运动员比力量体重指数相对较低的短跑运动员更具优势。碳水化合物填充法（或超补偿法）的影响就是将更多的碳水化合物（糖原）传输入肌肉，从而支持肌肉运动。糖原储备与所需水分的比例为 1:3。即每储存 1 克糖原，体内就要储存 3 克水。经历过碳水化合物填充的运动员，有时会感到身体僵硬沉重。很明显，这不是短跑运动员起跑前应有的现象，而对于长跑运动员来说，则是可以接受的。因此，短跑运动员应定期摄取高碳水化合物类食物，以保持充足的总热量，但应当避免可能导致额外糖原和水分进入肌肉的碳水化合物填充法。

游泳（100~400 米）

或许游泳运动员每获得一点提高都要付出比其他运动项目更多的时间。游泳运动员需要在水中进行长时间的训练来完善技能，以便更好地克服阻力，提高有氧和无氧能力。在较短距离的游泳项目中，比赛持续时间通常不超过 2 分钟，大部分能量都是来自于磷酸肌酸和糖原的无氧代谢（表 13.3）。虽然该类比赛持续时间较短，但维持其高水平能量输出所需的能量储备要求却相当高，而且其大多数（>55%）能量必须依赖于糖原和磷酸肌酸。

训练时运动员能量和营养素消耗都很高，在制订训练计划时必须考虑到这些因素。一项对国家拓展训练营中的游泳运动员进行的研究发现，尽管运动员的平均能量摄入（男性为 5221 千卡，女性为 3573 千卡）和营养素摄入均充足，但运动员之间的摄入量差异却非常大[58]。这些差异是由于游泳运动员膳食结构中脂肪摄入过高而碳水化合物摄入不足造成的，这说明大多数游泳运动员的饮食习惯不能够最好地支持训练和比赛需要。此外，有证据证明，女性大学生游泳运动员存在缺铁的情况，这可能对训练和体能造成影响[59]。据测试，男性游泳运动员倾向于从肉类和乳制品中摄入高脂肪含量的食物，他们喜欢含高脂肪的动物类食品的感观魅力，即使在进行高水平的训练时也

是如此[60]。

表 13.3 不同时间游泳时有氧和无氧代谢的供能比例

时间（秒）	无氧代谢供能比例（%）	有氧代谢供能比例（%）
0~30	80	20
30~60	60	40
60~90	42	58
90~120	36	64
120~180	30	70
	累计值	
0~60	70	30
0~90	61	39
0~120	55	45
0~180	45	55

注：随着训练时间的增加，产生功率随之减少，而且更多的能量来自于有氧代谢。此时的有氧代谢通过脂肪分解来供能，而较少依赖于糖原和磷酸肌酸。

Adapted, by permission, from D.R. Lamb, 1995, "Basic principles for improving sport performance," *GSSI Sport Science Exchange*, #55, 8(2).

高水平游泳运动员通常为高中生和大学生，他们花大量时间在游泳池中训练以提高游泳速度，而这即意味着每天需上数堂训练课。游泳运动员通常在清晨和傍晚进行训练（上学前和放学后），而且，他们通常必须在上课前（通常为早上 5 点）游 1 小时或 2 圈，这样才有提高自己的机会。因此，问题就在于，如何确保游泳运动员在正确的时间内，以正确的方式摄取足够的热量，从而完成训练计划。较为理想的方式是，游泳运动员在训练期间摄取大量高碳水化合物食物。然而，游泳运动员又必须确保入水之前为空腹状态，否则入水前摄入大量固体食物会导致血液由肌肉转移到胃肠道，进而导致腹部痉挛。这意味着训练和比赛期间，饮食重点应以含碳水化合物的运动饮料为主。

由于运动项目的特点，游泳运动员必须注意以下相关的营养因素。

*游泳运动员训练数小时并有一个高强度的训练方案。*竞技游泳运动员为了提高成绩需要进行长时间的训练，而这些训练将带来极高的热量需求。因为游泳运动员通常在早晨进行训练，所以在起床后应立即摄入一些碳水化合物，并让食物或饮料在练习前有充足的时间从胃中排出，这是非常重要的。如果在练习前没有摄入至少 100~200 千卡的碳水化合物，运动员则难以从训练中获得进步。在前往游泳池的路上饮用些液体（苹果汁、葡萄汁或运动饮料）是很好的方法。晨练后，游泳运动员应马上进食含高碳水化合物的早餐（如谷类、吐司、硬面包圈等），以补充练习时的能量消耗，并为下午的训练储存更多的能量。此外，由于具有极高的能量需求，高中游泳运动员应向学校管理员申请进食 200~400 千卡的上午点心。在游泳池中练习冲刺的运动员应注意到，肌肉细胞中的磷酸肌酸（冲刺所需的主要能源）可能消耗殆尽，为下一次冲刺做准备要重新生成磷酸肌酸，这需要一定的时间。当总的冲刺时间达到或超过 2 分钟时，应进行 4 分钟的恢复，让细胞有时间补充已消耗的磷酸肌酸。如缺乏这一恢复时间，将迫使游泳者以较低

的强度进行训练而且随后的冲刺也很短暂。这种情况下，游泳运动员所学习的冲刺方式可能对比赛结果产生负面影响[61]。

一些游泳运动员认为减轻体重可能对改善身着游泳衣的外形和减少阻力是必要的。制作比赛服使用的材料极薄，不可能掩盖运动员的体型。每个人都希望有良好的体型，这一点有可能使游泳运动员产生减重的动机。但如果减重导致了肌肉萎缩，就会导致肌肉力量减弱，因而许多游泳运动员容易出现体能降低的情况。如果降低体重减少了赘肉，可能对运动能力是有益的，但大多数减肥方法会产生事与愿违的结果。因此，希望通过减重来实现更佳外形或更快速度（或两者兼有）的游泳运动员，应在专业医疗人员的监测指导下实施减重。此外，减重的重点应放在减少脂肪和维持肌肉量上，而非简单意义上的体重下降。



优秀的男子游泳运动员每天需要摄入超过 5000 千卡的热量以充分地供应他们训练和比赛能量需求。

游泳运动员主要依靠糖原和磷酸肌酸，冲刺能力则主要依靠碳水化合物（糖原储备）和磷酸肌酸。游泳运动员的饮食以碳水化合物（30 千卡/公斤体重的碳水化合物）为主，并包含充足的蛋白质（1.5~2.0 克/公斤体重）以保证充足的总能量摄入。要充分相信，只有这样，他们才能储存足够的糖原并生成充足的磷酸肌酸，以适当地给肌肉供能。然而，很多运动员为了获取竞争优势而摄入一水肌酸（用于生成磷酸肌酸）。一水肌酸虽然可以增加游泳运动员进行高强度冲刺的次数，但游泳运动员应该认识到，经常摄取肌酸会导致体重增加。此类增加的体重其主要成分可能是水，会导致浮力降低以及阻力的增加。运动员应该通过增加进食机会获得更大的效果，确保最佳的总能量摄入。

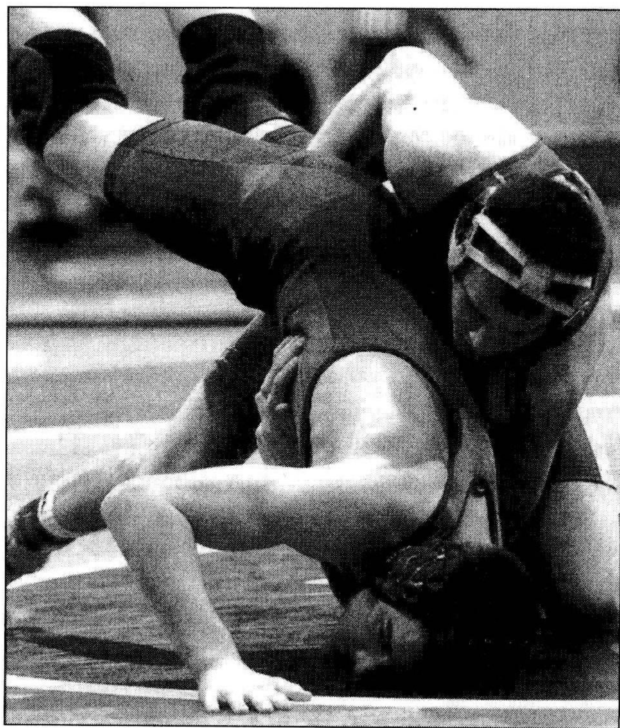
游泳运动员需要摄入液体。游泳运动员在水中运动却可能陷入脱水的危险中，这似乎让人难以理解。事实上，游泳运动员在低温环境中（通常水温低于空气温度）练习，更容易使运动肌肉所产生的过量的热被散失。此外，对于游泳运动员来说，还有其他充

分的理由来关注他的水合状态是否正常。水合状态不佳的运动员可能产生低血容量，导致心脏难以将氧气和营养物质运送至细胞，并且只有较少的血容量来存放代谢副产物。水储存过多会导致体重和阻力增加，但是体内水分不足则会影响体能和注意力。因此，一个很好的经验就是少量多次地饮用水或运动饮料，同时避免可能造成过多水潴留（即糖原负荷、甘油、肌酸）。

摔跤

摔跤运动已经有数千年的历史。法国、埃及和古巴比伦早期雕刻和油画作品中出现的摔跤选手的姿势与现代基本相同。在古希腊的奥林匹克运动会中，摔跤是最重要的比赛项目。并且摔跤的基本规则一直没有发生改变：摔跤选手使用各种方式使对手的肩膀接触垫子，从而赢得比赛[62]，如果两名摔跤运动员互相都不能摔倒对方，则由裁判员采用计分制来确定获胜者，计分制中包含详细的计分细则，其中包括抓住对手、靠近对手后背以及控制对手等等。

1997 年，关于 3 名大学生摔跤运动员猝死的新闻报道，引发了社会关于摔跤运动员“控体重”方法的关注和探讨。密歇根大学三年级学生杰夫·里斯为降低体重以达到更低的体重级别，在 92 华氏度（33 摄氏度）的房间中身穿橡胶服训练时，死于肾脏和心脏功能衰竭。而坎贝尔大学的比利·赛勒（Saylor，19 岁，三度获佛罗里达州冠军）和威斯康辛大学的约瑟夫·拉罗莎（LaRosa，22 岁）则在为争取参加较低重量级别的比赛时，因试图减掉大量体重而死亡。这些案例引发了社会的强烈反响，大众呼吁制定控制正常体重的规则，并严格审查相关减体重的方法（补充剂、脱水和节食）。在以往有关摔跤教练员对运动营养学知识掌握程度的调查中发现，大部分教练员的相关知识水平不足以向青年运动员提供科学的营养指导。而这一事件大大提高了摔跤教练员关于减肥、运动营养、脱水和身体成分的认识[63]。美国运动医学学会（ACSM）就摔跤运动员减体重方面发表了自己的观点[64]：



鉴于摔跤界出现大量与“控体重”相关的危险性事件，建议教练员和运动员适当地学习一些关于健康控体重的方法。

尽管有越来越多的证据显示大家在劝告和阻止这一行为，但减重（快速减重）仍然在摔跤运动员中非常普遍。减重会带来一系列严重的后果，这将影响到运动员的比赛发挥、身体健康和正常的生长发育。为增加教练员的相关知识并降低运动员的健康风险，美国运动医学学会向教练员和摔跤运动员推荐了有关均衡营养和体重控制行为的措施，从而达到控制“减重”行为的目的，并且制定了限制减重的法规。

该减重方案（减轻）的总目标是，在比赛前一晚称重时达到理想体重等级的参赛资格，并且在称重和第二天比赛期间尽可能多地增加体重。一份评估大学生摔跤运动员减重行为的调查报告显示，10%的人遵循了最新的美国全国大学体育协会（NCAA）的规定，并停止了其减重行为[65]。尽管这一结果较为乐观，但大多数摔跤运动员仍然坚持带有危险性的减重行为。而且更令人担忧的是，有证据证明，在低于预计最低体重的情况下进行比赛具有更大的获胜几率[66]。还有证据显示，在较短时间内达到目标体重对赢得比赛来讲是很重要的。在一项评估摔跤运动员相对体重的研究中发现，体重较大的摔跤运动员的成功几率较大（57%）[67]。

摔跤运动员通常实施的减重方法存在多方面的问题。部分资料显示，减重而导致的营养不良会使摔跤运动员出现生长激素异常，而且如果这种情况连续出现超过几个季度，那么将对运动员的生长发育产生严重影响[68]。另外一项研究证实，饮食限制会导致蛋白营养不足和肌肉功能下降[69]。大量研究结果表明，通过过度限制能量摄入而进行的减重，会降低摔跤运动员的无氧运动能力；以高碳水化合物饮食结构为基础的摔跤运动员能够较好地恢复体能，而低碳水化合物摄入的运动员则恢复较慢[70]。快速减重除引起明显的生理变化外，还有资料显示，快速减重会引起短时记忆力损伤，从而影响这些大学生运动员的学业[71]。

由于运动项目的特点，摔跤运动员必须注意以下相关的营养因素。

*“控重”对运动能力和健康都有害。*大量证据显示，与控重相关的体重反反复复的变化（即：为了比赛而在体重恢复后通过减重来控制体重）危害很大，这可能导致糖原耗竭、肌肉量减少、基础代谢率下降以及身体脂肪增加等[72]。如果上述情况经常发生，那么基础代谢率的下降可能会使运动员通过限制饮食达到期望体重的目的更难实现，为达到期望的体重，摔跤运动员会采取更苛刻的（且更危险的）措施。摔跤运动员和教练员应当遵循合理的模式以达到期望的体重，例如，由威斯康辛州校际运动员协会（Wisconsin Interscholastic Athletic Association）提供的模式，从而避免造成对健康和体能的危害[73]。该计划针对体重制定了合理的目标，并提供了营养指导信息，从而帮助摔跤运动员达到理想体重，并使其了解不合理的减重方法的不良影响。在这些体重目标指南中，对体重可改变的范围制定了一个上限，限制一个季度内的最大体重变化幅度，并且还增加了一套监控系统，来确保在该季度的任何时候都不会发生突然且急剧的体重变化。

*摔跤运动以无氧代谢为主，因此对碳水化合物的需求更高。*尽管奥林匹克摔跤项目含有有氧因素（比赛持续 5 分钟且中途无休息时间），但高校的摔跤运动还是以无氧运动为主（3 回合，每回合 2 分钟）。该类运动对碳水化合物的需求相当高，并且有资料

显示，摄入高碳水化合物食物的运动员能取得较好的成绩。还有一点值得关注的是，摔跤运动员一般会通过脱水来达到理想体重。但是，在脱水状态下竞技十分危险，因为此类方法存在很多严重的危害（包括多器官功能衰竭、中暑和死亡等），并可导致体能下降。摔跤运动员应抵制脱水，并且应当明白水分充足的运动员比脱水的运动员的表现会更优秀。

摔跤运动员与教练员应当更加了解营养不良的潜在危害。让正处于生长发育阶段的运动员达到极低的体重将引发各种疾病，更无法获得强健的体魄（运动的终极目标）。而让青年运动员使用不正确的方法达到低体重目标，尤其是当达到的体重对于其所实际参加的竞技运动毫无意义时，也更难以让人接受。摔跤运动所涉及的每个人都应支持制定合理的身高体重标准，并保证能够被合理地应用。另外，运动员应该保持合理体重，以便于在赛前能迅速降至比赛级别要求的体重，而不是通过饮食手段在一段较长时间内不断地降体重。在比赛规则改变之前，摔跤运动员和教练员必须认识到“控制体重”所带来的危害。

参与极限体能和极限速度项目的运动员，应当注意摄入足够的总能量，并以摄入碳水化合物为主，以便能合成并储存足够的糖原，从而保证肌肉运动。磷酸肌酸和糖原是高强度运动的主要能量来源，而蛋白质摄入也应当保持充足（1.5~2.0 克/公斤体重），以保证肌酸的合成。越来越多的资料显示，补充肌酸能够明显提高短时间高强度运动的成绩[74]。但是，很多此类研究的课题未能阐明运动员进行运动前是否摄取了足够的总能量，以及在这种情况下是否能增加肌酸的合成。

许多运动项目的运动员都有不合理的营养习惯，应当在着手制定和执行营养补充计划前纠正这些不良的习惯[75]。液体摄入也非常重要，因为这样能帮助机体维持血容量，而维持正常的血容量是保证运动能力的一个很重要的因素，另外，液体摄入不足会限制糖原储备，还会使运动员体温难以保持。教练员往往过分重视蛋白质，过度推荐低脂饮食，并经常存在各种误区[76]。高强度短时间运动对碳水化合物和液体的需求往往都很高，因此，运动员应按其运动项目调整碳水化合物和液体的摄入量[77]。

14 耐力型运动员的有氧代谢

对耐力型运动员而言，在比赛前优化碳水化合物的储备，比赛期间及时补充碳水化合物，比赛前和比赛期间保持最佳的水合状态，对保持最佳体能至关重要。调查表明，大多数耐力型运动员在训练和比赛中都存在以下问题，如热量摄取不足、过度依赖蛋白质和脂肪、保持最佳体能所需的碳水化合物摄入不足等。此外，为加快肌肉恢复，耐力型运动员在日常训练结束后才开始考虑营养因素。而且，日常训练中，耐力型运动员一般采用与比赛不同的方式进行训练，例如，尽管在长距离比赛中每隔 5 公里设定有饮水，但在训练中，运动员却仅饮用极少量的水，这种差异使得他们很难完全适应比赛环境。

本章将介绍在训练和比赛过程中，优化碳水化合物储备的营养方案，以及维持正常血容量和出汗率的补水方案。另外，本章还将介绍常见的用于补充水分和能量的产品，以帮助运动员在不同的训练和比赛环境中作出最佳选择。

营养策略

耐力项目如公路自行车赛、长距离游泳、马拉松、铁人三项和万米长跑等，都需要较高的耐力水平，而对无氧能力的要求却较低。这就要求运动员在进行长距离运动后，还能以个体的最大有氧耐力坚持运动。在耐力运动中，随着对训练、营养以及选材水平的提高，纪录接连被刷新。这表明，选择正确的训练方式可以改变耐力项目中的速度曲线。1996 年亚特兰大奥运会的马拉松冠军以平均不到 5 分钟/英里的成绩获胜，这是一次很难完成的壮举。除了意想不到的速度，运动员还必须将这一速度保持在一定水平，以维持足够的摄氧量，从而维持肌肉的有氧代谢能力。即在有氧状态下代谢获能，并以此支持大多数肌肉的工作。这是获取能量的一个有效方式，可使运动员能够在长时间内维持肌肉的工作状态。

有氧训练有益于提升运动员对氧的利用能力。中间型（IIa 型）肌肉纤维趋向于表现为快肌（动力）纤维，而非慢肌（耐力）纤维。通过训练可显著增加细胞中的线粒体含量和氧化代谢所需的酶类。通过训练可影响氧摄取能力是众所周知的。对血乳酸的研究发现，在做同样强度的工作时，受过训练的运动员的血乳酸水平远远高于没有受过训练的运动员。中间型肌肉纤维的转化会提高运动员的有氧耐力。摄氧能力的增强可提高脂肪（主要能量源）的氧化分解能力，从而减少了对碳水化合物的依赖。如表 14.1 所示，有氧运动的运动员比力量型运动的运动员有更强的摄氧能力。

表 14.1 奥林匹克运动项目中运动员的摄氧量

运动项目	最大摄氧量 毫升 /（千克·分钟）
越野滑雪（男子）	84
越野滑雪（女子）	65
跑步（男子）	80
跑步（女子）	58
速滑（男子）	77
速滑（女子）	54
骑自行车（男子）	73
划船（男子）	62
举重（男子）	55
久坐（男子）	43
久坐（女子）	40

Adapted, by permission, from F.I. Katch, V.L. Katch and W. McArdle, 1993, *Introduction to nutrition, exercise, and health*, 4th ed. (Philadelphia, PA: Lea & Febiger), 179.

即便是最瘦的运动员，在其体内也储存了大量脂肪作为能源，其脂肪燃烧能力的增强也会急剧提高耐力。但是，脂肪完全燃烧需要碳水化合物，而运动员的碳水化合物储备相对较低，因此碳水化合物仍是耐力运动的决定性能源。以下事实能清楚证明这一点：高脂饮食的运动员的最大耐力维持时间为 57 分钟；正常混合饮食的运动员最大耐力维持时间可提升到 114 分钟；高碳水化合物饮食的运动员最大耐力维持时间则高达 167 分钟 [1]。

有氧代谢的途径

有氧代谢途径指在有氧情况下，我们从供能物（碳水化合物、蛋白质和脂肪）中获取能量的方法。在有氧代谢过程中，对能量释放的控制，使葡萄糖中的大量能量能够储存在三磷酸腺苷（ATP）中。葡萄糖的充分氧化分解产生能量、二氧化碳和水：



葡萄糖+$6O_2$+38ADP+39 磷酸盐=>$6CO_2$+$6H_2O$+38ATP［葡萄糖=$C_6H_{12}O_6$］

在无氧代谢过程中，丙酮酸转化为乳酸。但是，在氧充足的情况下，丙酮酸可在线粒体（通常称为细胞的能量工厂）中彻底氧化分解并产生能量。1 个葡萄糖（6 个碳分子）转化为 2 个丙酮酸（3 个碳分子）。丙酮酸进入线粒体后进一步转化为乙酰辅酶 A（通常简称为 Acetyl-CoA，2 个碳分子）[2]。线粒体中的脂肪酸 β 氧化作用也可产生乙酰辅酶 A。在 β 氧化作用中，碳脱离脂肪酸长碳链，形成了乙酰辅酶 A。从丙酮酸或脂肪酸 β 氧化作用过程中新产生的乙酰辅酶 A，可以氧化形成三羧酸循环（TCA）中的二氧化碳（CO_2）[3]。TCA 循环的关键是，产生氢原子并将其输送到电子传递链中。正是在电子传递链中，使 ADP 氧化磷酸化生成 ATP。在为电子传递链输送了足够的氢气并为氧化磷酸化输送了足够的氧气的前提下，电子传递链能持续不断地以 ATP 的形式产生能量。

若产生了过多的乙酰辅酶 A，比如，将乙酰辅酶 A 转化为能量的氧化酶不足，或氧气不足，多余部分将转化为脂肪储存起来或转化为丙氨酸。丙氨酸可通过肝脏转化为葡萄糖或成为蛋白质结构的一部分（图 14.1）。

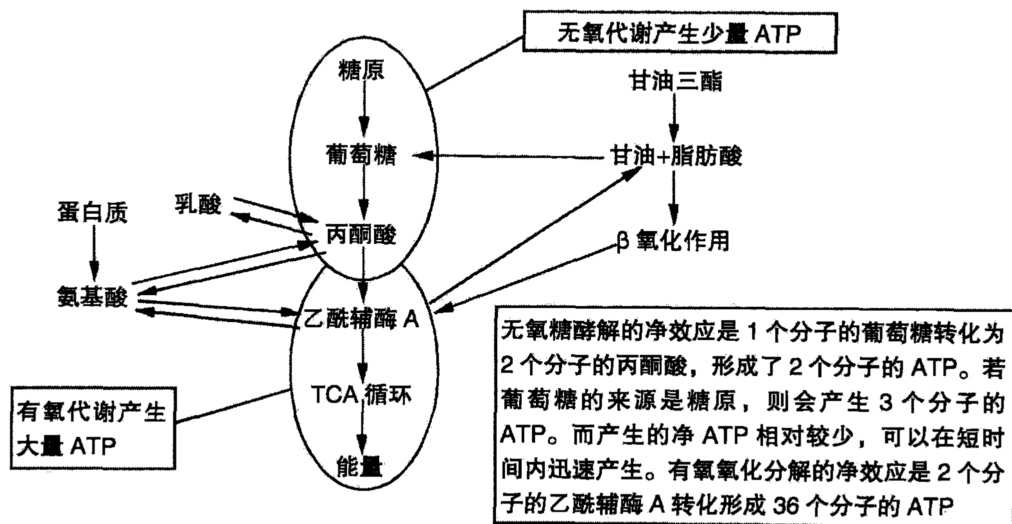


图 14.1 能量代谢途径中基质的使用。

无氧代谢过程能立即提供 ATP，但只能持续极短的时间，而有氧代谢过程提供 ATP 的速度虽然较为缓慢，但持续时间较长。人体内存储有大量的能量，我们可动员利用其

生成 ATP 并为肌肉做功提供能量（表 14.2）。

表 14.2 平均能量储备理论值

	质量（千克）	能量（千卡）	运动时间（分钟）
肝糖原	0.08	306	16
肌糖原	0.40	1529	80
血糖	0.01	38	2
脂肪	10.5	92787	4856
蛋白质	12.0	48722	2550

注：越来越多的资料证明，肌甘油三酯是耐力活动的重要能量源。但是在很多情况下肌甘油三酯会与糖原在储存时发生竞争。是否能找到一种同时增加肌内甘油三酯和糖原的有效方法呢？这一问题对提高耐力水平有正面的启示[4]。

Adapted, by permission, from M. Gleeson, 2000, Biochemistry of exercise. In *Nutrition in sport*, edited by R.J. Maughan (London, England: Blackwell Science), 29.

在我们可用的能量中，脂肪是最高效的储能形式。同时，在可提供 ATP 的所有能源中，脂肪供能的数量也是最大的。储存 1 克糖原大约需要 3 克水，而储存脂肪则不需要水，因此脂肪就成为最有效的能量储存形式。肌糖原和肝糖原储备只是能量储备中的一小部分，但它们同时具有无氧代谢和有氧代谢两种代谢形式，而脂肪却只能以有氧代谢形式供能。蛋白质储备来自于功能性组织，在理想条件下，功能性组织不能作为能源进行代谢供能。但是，少量蛋白质（约占总能量的 5%）可以经过代谢以满足机体的能量需求。在有碳水化合物的情况下，蛋白质储备可以较高的速率进行代谢，为机体提供葡萄糖源（丙氨酸可以通过肝脏转化为葡萄糖）、乙酰辅酶 A 源以及进行氧化代谢。但是，这种蛋白质代谢并不是我们所期望的，我们可以通过及时地补充碳水化合物和摄取充足的能量来避免这一情况的发生。

在运动初期，大多数的 ATP 从无氧代谢中获得。高强度、高消耗运动所需的能量取决于无氧代谢的持续供给。而低强度运动首先是通过无氧方式供能，进而转换为有氧代谢以满足能量需求。因此，无氧和有氧代谢过程应视为同一个过程，由活动强度来决定能量供应的主要代谢方式。高强度、高消耗的运动更多依赖于无氧代谢，而低强度运动则更多地依赖于有氧代谢。由于大部分能量由有氧代谢方式提供（脂肪只能通过有氧方式代谢），因此，耐力型运动员必须增强其肌肉的有氧代谢能力。高水平有氧项目运动员的细胞内具有更多数量的线粒体，且线粒体中含有更多的有氧代谢酶类。

耐力运动的注意事项

耐力运动指能量代谢的主要方式为有氧代谢。耐力项目的运动员必须能够获取并提供足够的氧给工作的肌肉，为正在进行的运动提供能量支持。耐力运动的强度低于个体最大运动强度，也就是说当机体在较高或最大强度下运动时，其能量需求将超过运动员

的有氧代谢供能能力。短跑运动员以最大强度进行运动，可以跑得很快，但只能维持较短的距离。耐力型运动员虽然不能像短跑运动员那样跑得很快，但是由于他们采用了燃烧更加完全、更加有效的有氧代谢方式来供给能量，所以可以坚持较长的距离。为保持有氧代谢系统的工作效率，运动员应注意有氧代谢供能的影响因素，如过度训练、劳损以及合理膳食等。

过度训练

以下是一位世界级田径运动员在一封电子邮件中所写的：

我刚结束了为期三周的高强度训练。我一周几乎有四天要遭受严酷训练的“折磨”。我已经停止了训练，正在休息，使我的身体接受这一阶段训练的成果，但是我仍感觉有点迟钝。我睡得很好但没觉得恢复好。我的教练担心我可能有点贫血。你也知道，我的营养分析结果一直都很好。我是不是应该做个血液检查，服用铁剂或其他别的营养补剂？我非常担心。

这些都是运动员出现“过度训练”的典型症状。过度训练有一些已经明确的症状，包括肌肉酸痛加重、肌肉恢复延迟、不能完成以前的训练负荷、睡眠质量差、精力衰退、淋巴结肿大、经常生病以及食欲不振等，这些症状往往是由于运动强度超过了人体恢复的能力而导致的。过度训练很少可以使运动员的成绩提高，反而常常会因为增加了运动员生病或受伤的发生率，而导致运动员的运动能力变得更差。

再如，一位 26 岁的运动员转到了竞争更为激烈的球队后，他的训练量增加了 200%，2 个月后，他感到持续疲惫、耳鸣、心慌和失眠，在他仍继续坚持训练 3 个月之后，出现了不应该发生的症状，如身体完全不适，并伴有失眠和精神抑郁等[5]。

过度训练是许多运动员（其中 10%~20%的运动员进行了高强度训练）都存在的问题，而且这种情况在耐力型运动员中更为普遍。除了其他危险因素外，碳水化合物和液体摄入不足也是一个明显的诱因[6]。过度训练症状是由过度训练引起的疲劳没有得到及时处理和休息不足所导致的。过度训练不仅会使运动员体能和训练能力出现慢性减退，还可能出现某些需要药物治疗的问题。导致过度训练症状的因素主要包括：

- 频繁比赛，尤其是高技术水平的比赛；
- 单调的训练，并且休息不足；
- 健康状况不佳（如感冒或过敏）；
- 饮食不佳，尤其是碳水化合物摄取不足或脱水；
- 环境压力（如海拔、高温和湿度）；
- 社会心理应激（如与工作或学习发生冲突）。

美国运动医学学会研究发现，通过合理的训练计划来确保充足的休息和恢复，以及摄入适当的营养和及时地补充水分可以有效地消除过度训练症状[7]。对马拉松运动员进行的研究表明，即便采取了高碳水化合物的饮食模式，运动员在比赛后仍需要 7 天时间才能使肌糖原恢复到赛前的水平[8]。

在肌糖原还没有完全恢复前就进行持续的、有规律的训练，将导致运动员运动能力的下降。因此，运动员必须明白，休息是训练的一个重要且不可缺少的环节，尤其是高强度训练后的休息则更为重要。运动员应该坚持充足的休息而不必担心减少训练可能会降低自己的竞争力。训练相关的每个人（家人、教练员、运动训练师等）都应该知道过度训练会导致体能下降。简而言之，休息和恢复应当被视为完整训练计划的一部分。

劳损

当运动员长期重复同一种训练时，就会出现劳损。青少年运动员因处于快速生长发育阶段，其出现劳损的情况更为严重 [9]。在训练中很多情况会导致劳损，如因跑鞋不合脚而产生的脚后跟水泡是劳损；脚与硬路面的持续触碰可产生足够大的应力，由此导致的应力性骨折也是劳损，这种情况与将金属衣架反复往同一方向弯折后会出现裂缝并最终发生断裂是相似的。由于耐力型运动员要花很多时间去训练，因此，劳损是一个很现实的问题。

一项针对铁人三项运动员开展的研究发现，一些在比赛早期形成的骨骼损伤会随着比赛的进行变得更加严重。这些损伤会随着铁人三项赛程的进展以及赛后人体自身的愈合，而改变机体对能源物质的利用 [10]。尽管在比赛中会出现蛋白质分解和肌肉损伤，但只要能保持良好的营养状况，训练有素的运动员一般不会发生健康异常 [11]。在训练和比赛过程中出现微组织损伤时，营养充足的运动员具有更好的恢复能力。此外，在训练过程中，能保持碳水化合物和液体水平的运动员往往拥有更好的大脑功能，具体表现为跑姿平稳且不易受伤。如果运动员体内的碳水化合物或液体含量不足则容易引起大脑功能下降，导致机体的组织协调能力下降，组织器官的应激能力下降，并最终引起损伤。

合理膳食

如果运动员体内的糖原储备过低，就不足以维持运动员正常训练时间和训练量，因此运动员需要定期摄取碳水化合物以维持或补充有限的糖原储备 [12]。理论上运动员每天需摄入碳水化合物 7~10 克/公斤体重，如表 14.3 所示。对体重 100 磅（45 公斤）的运动员而言，也需要保证碳水化合物的最低摄入值。

表 14.3 耐力型运动员的热量摄入

	每日每磅体重摄入量（克）	体重 100 磅（45 公斤）的运动员每日的热量摄入（卡）	体重 200 磅（90 公斤）的运动员每日的热量摄入（卡）
碳水化合物	3.2~4.5	1280~1800	2560~3600
蛋白质	0.7~0.9	280~360	560~720
脂肪 *	0.35~0.6	315~540	630~1080
每日总热量	2,808~3,888	1875~2700	3750~5400

注：* 脂肪摄入量以总热量的 20%为基础。

碳水化合物的定期摄入也很重要，如果摄入不规律则会影响糖原的储备和再合成。一项对全国高强度训练男运动员的调查发现，除比赛结束后一段时间，他们的食物摄入总体而言是足量且及时的。尽管运动员被要求在比赛结束后立即摄入碳水化合物以促进糖原储备的恢复，但运动员往往要延迟 2.5 小时左右才会进食[13]。延迟进食碳水化合物会导致糖原补充不良，在随后几天的训练中将会出现耐力下降的负面影响。对马拉松运动员的研究发现，虽然运动员最需要能量摄入是下午 4 点之前，但是运动员大部分的能量摄入集中在下午 4 点以后[14]。延迟进食使运动员失去了训练结束后使肌肉糖原储备最大化的最佳时机[15, 16]。

耐力比赛中，补充剂和增补剂不能取代充足的能量和碳水化合物摄取。高效工作的唯一方法是在最佳进食时间摄入足够食物，这样有利于将能量输送到需要的肌肉，或促使糖原储备达到最大化。有研究表明，耐力型运动员必须在进行主要比赛的前一周集中存储糖原，否则会对运动员的耐力产生消极影响[17]。

耐力型运动员由于训练和比赛等原因，需要在训练时即形成适合自己的能量和液体摄入的方法。虽然做到这点并不难，但是饮食成分不当、进食时间不合适等都会导致运动员的运动能力下降。许多运动员在比赛开始前会经历所谓的“胃部不适”，导致机体摄取适宜能量和液体变得困难。因此，运动员应进行有目的的试验，发现自己对何种运动饮料、碳酸化合物凝胶及其他能源和营养品具有良好的适应性，从而达到良好的训练效果，并在比赛中达到最佳状态。采纳通用的膳食建议可能是一个好的开始，但是要想在激烈的比赛中获胜，还需要个体化的膳食摄入模式。

不同类型的比赛对碳水化合物和脂肪的摄入比例有不同的要求（高强度比赛以碳水化合物为主，而低强度比赛则以脂肪为主），但是最终决定运动员是否会“陷入绝境”的因素仍然是碳水化合物的水平。当糖原储备耗尽时，运动员将无法保持强有力的步伐。耐力比赛耗时比较长，运动员需要利用每一个可以利用的机会进食，以确保机体有足够的能量来继续比赛，并为第二天的比赛存储足够的能量（糖原）。

为保证能量和营养的摄入，运动员应该合理安排饮食。如携带装有食物的方便袋，在去上课或者坐车的途中食用，以维持训练中所获得的效果。吃不饱的运动员容易疲劳、容易受伤，也更容易去尝试那些标榜能提高运动能力的无证产品。事实上，不管是赛车、赛跑还是游泳运动员，他们关注增补剂和营养补充剂都是为了解决未合理摄食所产生的问题。

维持水合状态有利于实现生理功能水平的最佳化。耐力型运动员应经常摄入液体，即使不口渴的时候也应坚持喝水，以降低脱水的可能性。饮用含有少量钠的碳酸饮料对于液体吸收十分有效。

营养补充剂

对于碳水化合物或总能量摄取不足的运动员而言，其发生维生素 C、维生素 B_1、维生素 PP、钙、镁和铁等营养素摄入不足的可能性很大[18]。研究发现，马拉松运动员服用营养补充剂（尤其是维生素 C、维生素 E、钙和锌）的情况十分普遍。48%的

运动员接受调查时回答说，在洛杉矶马拉松比赛前后的3天内至少会服用一种营养补充剂[19]。还有研究证明，未服用补充剂的马拉松、足球、摔跤和篮球等项目的运动员都有良好的维生素C和维生素B_6水平。因此，也无法证明这些维生素补充剂的功效[20, 21]。对马拉松运动员服用镁的效果评估发现，服用该补充剂未提高运动员在比赛过程中对肌肉的保护能力，也未增强比赛后肌肉的恢复能力，更重要的是对提高运动员的跑步成绩也没有帮助[22]。

该研究同时评估了男子马拉松运动员，在服用含有维生素、矿物质、氨基酸和不饱和脂肪酸的营养增补剂后是否提高了其运动成绩。研究结果表明，这些增补剂对提高摄氧量或者其他与耐力相关的重要生理、生化指标都没有效果[23]。

对耐力型女运动员的营养关注

耐力型女运动员必须摄取足够的热量和营养，以避免闭经（月经周期停止）。发生闭经有多种原因，如强烈的生理或心理应激、能量摄入不足、铁缺乏、皮质醇水平过高和体脂率过低等。如果以上因素同时发生，耐力型女运动员将很难继续维持其运动生涯。尽管有些因素是运动员自身无法控制的，但运动员至少能保证自己的食物摄入。闭经、骨质疏松以及应力性骨折三者之间具有极大的相关性。女运动员应在其能力范围内，尽量摄取足够的具有均衡营养的总热量，以保持身体的健康。此外，职业运动导致的骨质减少，将会使运动员在以后生活中面临更高的患骨质疏松症的风险。

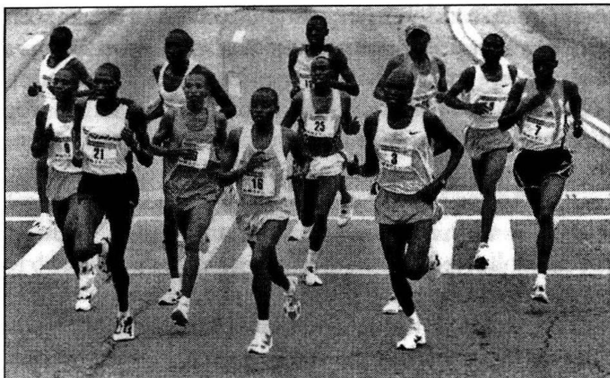
对有氧代谢为主的运动项目的抽样分析

有氧运动是长时间在次极限强度下进行的运动，在机体不发生过热（水合状态很重要）的情况下，只要有足够的能量，有氧代谢可以使肌肉稳定地产生ATP，从而维持运动员的运动。膳食以脂肪为主碳水化合物为辅的运动员，其脂肪储备高于糖原储备，一般具有较好的耐力。由于脂肪需要大量的氧才能进行有效的代谢，因此氧化系统较佳（如含有大量的有氧氧化酶类，具有极佳的运输氧到工作细胞的能力等）的运动员具有较好的耐力。以下是对耐力运动及其需考虑的特殊营养因素的举例分析。

长跑

长跑一般指距离为10000米（6.2英里）或10000米以上的跑步。为了跑完这些路程，运动员在大部分的跑步过程中，主要依赖于有氧代谢，其能量供应主要来自于脂肪，而对碳水化合物的使用较少。从实际角度来看，碳水化合物储备是有限的，而脂肪储备是无限的。运动员越依赖于脂肪供能，就能跑得越远。而且，脂肪储备还能短时维持体内的碳水化合物浓度，供运动员需要加速或冲刺时使用。一项研究发现，在有氧运动过程中只有2%~7%的总能量来自于无氧代谢[24]。而在维持有氧运动时需要少量的

碳水化合物，因此，长跑运动员必须制订相应的计划，在跑步过程中摄入碳水化合物，避免低血糖或低肌糖原储备的发生，否则会因过早的肌肉疲劳而影响运动员的耐力。



优秀的长跑运动员在比赛中消耗的能量主要依赖于脂肪和碳水化合物，以进行加速和变速。

长跑运动员务必要考虑以下相关的营养因素。

*长跑运动员面临闭经、骨质疏松和应力性骨折的风险。*虽然跑步对骨骼肌有潜在的刺激作用，但是，如果运动员一周训练所跑的距离过长的话，还是容易发生应力性骨折[25]。尽管女长跑运动员出现应力性骨折的频率要高于男运动员，但是，所有运动员都应该确保摄入足够的钙，以降低患骨折的风险。强化耐力训练常常造成闭经，这也使女子长跑运动员患应力性骨折的风险更高。

闭经引起的雌激素减少与骨质疏松是相互关联的。因此，单次或重复出现闭经的女运动员应立即就医咨询，以确定是否需要采取措施恢复正常的月经周期[26]。

女子长跑运动员应采取以下方法来降低患骨质疏松症的风险：

- 从食物或食物与补充剂中摄入足够的钙（每天 1500 毫克）。
- 避免蛋白质摄入过量，防止过量蛋白质导致的严重尿钙流失。
- 在训练过程中通过保持水合状态和血糖水平来控制应激激素（尤其是皮质醇）的分泌。
- 避免可能导致闭经的过度训练。

能量摄入不足意味着维生素和矿物质摄入的不足。一项对闭经、月经量少及月经正常的女子长跑运动员进行的对比研究发现，她们在身高、体重、训练量和体脂率上相一致，但是营养摄入有明显的差别[27]。闭经运动员的锌摄入量低于建议摄入量，并且大大低于月经正常运动员的摄入量。另外，月经正常的运动员脂肪摄入量较高，总能量摄入也更充足。这表明，高碳水化合物饮食对发挥最佳体能非常有利，但是由于碳水化合物的热值低于脂肪，高碳水化合物饮食难以满足总能量的摄入量。因此，当碳水化合物作为主要的能量来源时，运动员应注意摄取更多种类的食物。月经异常是引起骨质脆弱和应力性骨折的重要风险因素。经常发生应力性骨折比受伤更令人沮丧，甚至有可能意味着职业运动生涯的结束，因此女子长跑运动员更应注重能量和营养的充分摄入。长跑需要消耗大量的热量（如一场马拉松比赛的热量需要大约 2900 千卡），如果没有充分的总能量摄入，运动员就无法进行适当的训练或比赛。膳食计划主要包括，在正餐之间、在训练前后以及过程中吃零食或喝运动饮料，这些对确保满足比赛时的能量消耗非常重要。

对中长跑运动员的调查发现，他们的总能量和碳水化合物摄入量均低于建议标准，建议他们在训练前后及过程中必须努力摄取热量[28, 29]。一项对超耐力赛跑运动员比赛

期间营养摄入的评估发现，如果运动员遵循比赛前和比赛中的食物和饮料摄取指导原则，那么将有足够的能量和液体来支持运动员完成比赛[30]。

在比赛前减少运动量能提高比赛成绩[31]。这不仅可以增加肌肉的糖原储备，还可以使运动员更镇静，镇静的情绪可使运动员提高跑步时动作的经济性，从而提高成绩。在重要比赛之前逐渐减少训练和增加碳水化合物摄入虽然重要，但也不应过分强调其重要性。

*液体的补充是一个关键因素。*应根据确定的饮水计划来摄入液体以避免水合状态不佳或产生饥渴。保持最佳的水合状态对确保比赛成功最为重要。运动员应该及时饮水，如每隔 10~15 分钟进行一次，即使当他们坚信已经喝够时，还应继续保持。当然，所摄入的饮料类型同样很重要。（关于液体和电解质的更多信息，参见第 3 章）

在耐力跑过程中会产生大量的体热，这种热量可通过汗液蒸发来释放。研究明确指出，含电解质及 6%~7%碳水化合物的液体在维持运动耐力方面最为有效[32]。因此，长跑运动员应该养成不管是否口渴，都要经常摄入液体来维持正常的水合状态。每小时摄入 0.5~1 升的液体就足以防止在野外条件下易发的严重脱水现象，但为了防止在更恶劣的环境下出现热应激现象（如中暑），运动员则需要摄入更多的液体[33]。

*中长跑运动员的体脂率普遍较低。*成功的长跑运动员通常较瘦，而这种体型可能对他们在长跑过程中散发热量很有利[34]。但是，身体脂肪过少常常会造成闭经，因此女运动员应在低体脂和正常激素功能之间寻求平衡。

在所有耐力型运动员中影响体能的一个很关键的因素是铁营养状况，现有的证据证明，长跑运动员与经过综合训练、较为强壮的运动员相比，其血红蛋白、红细胞比积、红细胞总数较低[35]。铁营养状况很重要，长跑运动员曾非常普遍使用的非法增补剂之一就是促红细胞生成素（EPO）[36]，它可以促进红细胞的生成，从而提高携氧能力[37]。铁是血红蛋白（红细胞铁）、肌红蛋白（肌细胞铁）和线粒体中的铬酸铁（制造 ATP 很关键的携氧酶）中的一种很重要的微量元素。

当铁储备（铁蛋白）或铁摄入不足时，机体将通过分解其他细胞产生的铁来维持正常的血红蛋白合成。即使其他含铁细胞耗尽时，标准血液检查中的血红蛋白水平仍可能显示正常。因此，在耐力型运动员的血液检查中除血红蛋白外，还需增加铁蛋白的检查，铁蛋白的最低水平为 20 纳克/100 毫升。长跑运动员体内含铁较低的原因，除了膳食摄入不足外，还与是否进食红肉、是否为素食者有关，另外，还有其他几个最常见的原因[38-40]：

- 汗液中过量的铁丢失
- 胃肠道过量血损失
- 尿液（血尿）中的过量血损失
- 女子长跑运动员月经失血过多
- 铁吸收能力低
- 血管内溶血

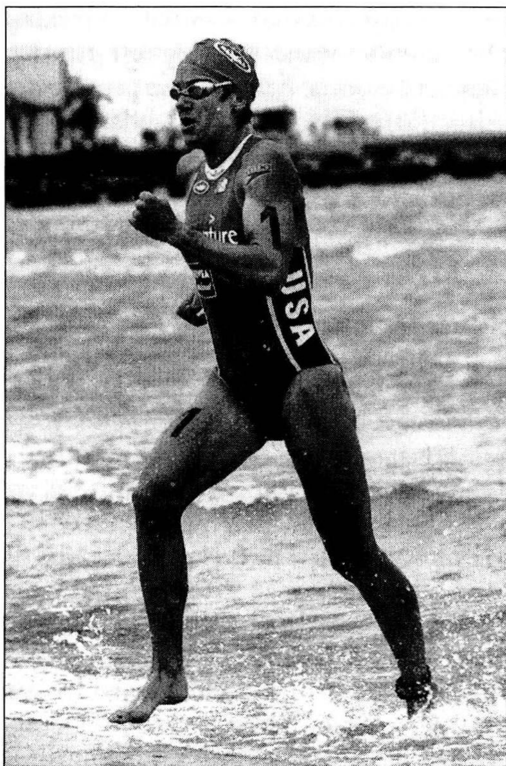
献血这个问题同样也应当纳入考虑范畴，因为铁营养状况对于赛跑能否成功来说十

分关键。诺艾克斯（Noakes，1991）指出，有意献血的赛跑运动员首先应检测铁营养状况。在5天的艰苦训练后，正常的血红蛋白和超过60纳克/毫升的铁蛋白水平是安全献血的临界点[41]。另外，为保障血容量和铁营养状况恢复到正常水平，长跑运动员在献血后的3~6周内不能以正常的强度进行训练。

铁人三项

铁人三项运动员要求上身和下身的肌肉平衡。三项运动（游泳、自行车赛、长跑）中的每一项都以不同的肌肉群为运动中心，铁人三项中运动员的所有主要肌肉都被动用，因此运动员必须摄取足够的总能量，来确保每块肌肉的能量需求。例如，游泳运动员比自行车运动员需要更强壮的上肢，而铁人三项运动员则要求所有的肌肉力量平衡[42]。由于全身的肌肉都会参与，因此铁人三项运动对运动员的体型并没有过多要求，任何能够在这三个项目中进行艰苦训练的人，都可以参加铁人三项比赛[43]。

铁人三项比赛有不同的比赛长度，这取决于比赛地点和赞助商。奥运会比赛的三项包括1500米游泳、40000米自行车和10000米长跑。在夏威夷最著名的铁人三项赛包括2.4英里游泳、112英里自行车赛和26英里385码长跑。有关普通三项全能赛运动员的一项调查显示，大多数人都无法完成该运动的训练负荷，三项全能赛运动员平均每周需游泳8800米、自行车训练270000米、跑步58200米[44]。在比赛之前逐渐降低训练量对于铁人三项运动员仍然很重要。研究显示，如果三项全能赛运动员减少赛前训练总时间，他们的比赛成绩都会有所提高[45]。此外，比赛前适量休息能有效提高训练效果。



游泳后，三项全能赛的后两项比赛对运动员的骨骼应力刺激较大，因此对运动员在赛季的钙摄入要求更高。

不同的运动项目使得运动员需要摄入不同营养比例的食物。与团体项目（如排球和篮球）的运动员相比，三项全能赛运动员的钙摄入量相对较低。一项10373名运动员参与的大型研究发现，三项全能赛运动员的钙摄入量低于建议水平，女运动员的钙摄入量低于男运动员[46]。这对于骨骼反复承受较高应力刺激的运动员来说是非常不幸的，因为钙摄入量低会增加应力性骨折的风险。

三项全能赛运动员务必考虑以下相关的营养因素。

保持正常的水合状态。对于三项全能赛运动员来说，要获得良好成绩最重要的因素

或许就是在比赛中保持水合状态。三项全能赛运动员应当找到一种耐受性好的运动饮料，结合饮水计划，从而使自身在比赛结束时体重丢失较少。制订一个切实可行的碳水化合物–电解质饮料摄取计划（常用的是每 15 分钟饮用 0.25~0.5 升），这也许是三项全能赛运动员应该做的最重要的事情。

有人担心，在铁人三项的游泳项目中穿着湿衣服的运动员，如果水温较高，那么在后继的骑自行车和跑步比赛过程中可能会发生热应激（中暑）现象。研究发现，如果运动员能保持良好的水合状态，即使穿着湿衣服也不会给身体温度造成不利影响[47]。良好水合状态的重要性与运动成绩的相关性是很多研究的主题，这种状态是赢得比赛的两个关键因素之一（另外一个关键因素是保持碳水化合物储备）。尽管水合状态很重要，但运动员在比赛中很少能够保持良好的水合状态，比赛后/中运动员因水分流失而下降的体重通常高达 4%[48]。三项全能赛运动员也可能有血钠过低的倾向（即低血钠），这是由于补充的液体中缺乏电解质（最典型的就是白开水）导致的[49, 50]。一项研究发现，参加铁人三项比赛后，运动员体重平均减少了 5.5 磅（2.5 公斤），而低血钠运动员尽管摄入的液体充足，体重减少却常常超出平均水平[51]。这些结果表明，即使摄入少量无钠的液体，也可能增加低血钠的风险。体内水分的减少和低血钠是影响比赛成绩的因素，这些因素同时也使运动员的健康受到影响。因此，补充适量和正确类型的液体对运动员的健康和成绩来说都非常重要[52]。

摄入足够的热量。铁人三项运动员对碳水化合物的要求远超过体内的储备。因此，铁人三项运动员在比赛过程中应制订一套摄入充足碳水化合物的计划（通常是每小时摄入 1~1.5 克/公斤体重）[53]。为保证能量摄入，运动员须采用耐受性良好且较为浓缩的含碳水化合物运动饮料。及时补充营养，可以给正在比赛的三项全能赛运动员提供更多的液体和碳水化合物，并提高耐力[54]。如果有可能的话，在自行车赛中可以摄入碳水化合物凝胶、香蕉或饼干（由随跑递水员提供），这是在跑步赛开始前恢复身体碳水化合物储备的最佳方法。

避免过度训练。要获得良好的成绩，充足的休息同充分的训练同样重要。在比赛开始前进行充分的休息和逐渐递减训练量，已经成为铁人三项运动员可遵循的两种最佳训练方法。相反，在重要的比赛前开始增加训练量的运动员反而无法达到最佳状态。

为参加更长距离比赛的运动员制订饮食计划。不同的比赛对三项全能赛中的长跑规定了不同的距离，其中有短距离赛跑、奥林匹克级别、长距离或铁人赛。短距离赛跑只需 45 分钟即可完成，而铁人赛至少需要 10 小时以上。不管比赛距离的长短，三项全能赛运动员都要进行艰苦的训练，他们在工作或学习时也变相地训练。与训练相比，饮食相对于生活的其他需求经常退居到第二位，但是饮食对运动员要实现的优胜目标来讲非常重要。必须要做的事情是：制订一个包括工作、训练、进食、休息和饮水的计划，并把这所有的一切都视为具有同等的重要性。

许多三项全能赛运动员每天都要进行一次以上的比赛或训练，或者是一周一次的比赛或每隔一周一次的比赛。这就对通常没有达到能量摄取要求的运动员提出了更高的能量需求。运动员花在训练上的时间越多，摄取食物的时间就越少，因此对能量需求的增

加和摄取能量时间的减少之间存在着矛盾。如何平衡摄入食物和训练这两者的时间，显得尤为重要。如果运动员只有固定的训练计划而没有相应的饮食计划（通常是这样），那么他将会非常痛苦。

长距离游泳

长距离游泳运动员是一个独特的人群，他们必须花大量时间在水中训练，才能及时获得微小的进步。提高游泳成绩的关键在于，运动员在不提高血乳酸水平的前提下加速的能力，或在使用较低的最大摄氧量百分比强度运动时加速的能力[55]。耐力游泳运动员能够在保持有氧代谢为主的同时，进一步提高运动强度。耐力游泳运动员拥有极好的有氧耐力素质，在机体内能保持足够的糖原和氧，以确保有效的能量供应。维持足够的血容量是保持较低血乳酸的关键（将乳酸放在较大的容积里=降低乳酸盐浓度）。当然，这在很大程度上取决于足够的水合状态和良好的电解质水平（钠能帮助保持血容量）。

长距离游泳运动员必须为其运动考虑以下相关的营养因素。

*游泳运动员通常骨密度较低。*与其他运动员相比，游泳运动员的骨密度相对较低[56]。原因很容易理解，游泳产生的对骨骼的应力作用比跑步产生的对骨骼的应力作用少。然而，也可能与游泳运动员长时间在室内泳池中游泳有关，其他运动员在室外跑步时增加了阳光照射时间，产生更多的维生素 D，导致两类运动员的骨骼发育不同。对于长距离游泳运动员来说，如果居住地气候足够温暖而能够在室外游泳池训练也是相当幸运的，但这还不是问题的关键。对女游泳运动员进行的研究发现，她们存在钙缺乏现象，而钙摄入不足是造成骨密度较低的原因[57]。摄入充足的钙（约 1500 毫克/天）对于保持强健的骨骼很关键，但是游泳运动员特别是日晒机会较少的游泳运动员还应该努力满足机



能在室外进行训练的运动员较少发生维生素 D 缺乏的现象。

体对维生素 D 的需求。

*全天训练期间需要补充足够的水分。*整天训练的游泳运动员需要重点补充足量的水分，以保持血容量和持续提供碳水化合物的能力。虽然在水中游泳时不会导致脱水，但在水上（通常在阳光下）等待比赛时却有脱水的可能。水分摄入不足甚至会严重损害运动员的运动能力。

*长时间比赛期间需摄入碳水化合物。*游泳比赛持续几小时，容易出现饥饿，而制订饮食计划对避免出现饥饿很重要。在饥饿状态下持续比赛是不当的，运动员应当摄入运动饮料、饼干及其他简单的碳水化合物（主要为淀粉类）等食物，并在等待比赛的过程中持续补充碳水化合物。

*摄入足够的能量以维持运动。*长距离游泳要消耗大量的能量，能量不足必须依靠从食物中摄入适当的热量进行补充。游泳运动员经常埋怨他们在长距离比赛期间无法增重，这是因为机体在燃烧肌肉来满足能量需求。

自行车比赛

环法自行车赛最著名的是在比赛的几天中有连续多次的长距离赛车比赛，而且在比赛的每个阶段都有不同的能力要求，因此其对参赛运动员的耐力要求极高。3 个星期内要完成约 4000 公里的路程，期间仅有一天的休息时间！报告显示，运动员在比赛 7 天后的能量消耗达到峰值[58]。赛车手的能量摄入结构为碳水化合物占总热量的 62%、蛋白质占总热量的 15%、脂肪占总热量的 23%，两餐之间的消耗大于 49%的总热量。比赛期间有时要跨越高山，有时则穿过平原。对环法自行车赛的赛车手的研究显示，他们每天摄入的液态碳水化合物饮料所提供的热量大约占总摄取热量的 30%[59]。每天长时间在自行车上，可能没有充分摄入足够能量的其他方法。

赛车与哮喘之间可能有某种相关性。1996 年美国亚特兰大奥运会研究发现，赛车和山地自行车运动员哮喘的发病概率最高（45%）[60]。研究还发现整个美国队有 20% 的运动员患有哮喘。这说明哮喘可能是运动员选择运动项目的促进因素。对某些运动员来说，哮喘反应可能由食物中某些物质所触发，有哮喘的赛车手应当小心避免可触发哮喘反应的食物或其他物质。

赛车手必须考虑以下相关的营养因素。

*从长时间的比赛中恢复。*长时间赛车比赛消耗的能量巨大，运动员的膳食计划可能影响到比赛的胜负。运动员对碳水化合物的需求十分显著，但这又与能量需求相矛盾。原因在于碳水化合物的热值较低。尽管脂肪的热值较高，但运动员对脂肪的需求程度低于碳水化合物。因此运动员应频繁摄入大量的碳水化合物，尤其是面条、面包等淀粉类碳水化合物。

*在长时间骑行过程中及时摄入食物和水分。*赛车手比较容易把液体和食物放在车架上或衣服口袋中，由于骑行中的跳动比跑步少，赛车手可以摄入固态食物，而无需担心发生胃肠道的疼痛。赛车手应当在长时间骑行中利用该优势，带上运动饮料、饼干、香



患有哮喘的赛车手必须仔细关注其食物摄入，因为某些食物可能会触发哮喘。

蕉、碳水化合物凝胶或面包等食物。这些高碳水化合物含量的食物便于携带，并容易输送至运动肌肉中。

*训练需要耗费大量的时间和能量。*运动员训练的时间越长，所需的能量就越多，然而摄入能量的时间也因训练时间长而随之减少。

在训练中未摄入热量将不可避免地导致能量摄入不足和功能衰退。因此，赛车手应将能量摄取时间看做训练时间的一部分。赛车手应在骑行期间随身携带香蕉和饼干等便于携带的食物，并及时摄入。运动饮料也是能量补充的重要来源，应当将运动饮料（而非白水）作为再水合作用饮料。

耐力型运动员的训练时间长并且对能量的需求大，但常因为训练时间太长而难以摄入足够的食物。运动员应该在一天训练计划中安排多次休息时间用于进食（每 3 小时摄入碳水化合物含量高的食物），以确保足够的总能量摄入。水分摄入也十分重要，不管是否口渴，耐力型运动员都应养成频繁喝水的习惯（每 10 分钟或 15 分钟一次）。大量资料显示，碳水化合物储备或水分过少都将影响耐力。高碳水化合物饮食的能量密度较低，有时会影响运动员的总能量摄入，这时可以考虑摄入脂肪含量较高的食物，以便帮助运动员满足其能量需求[61]。但是，对于耐力型运动员来说，脂肪除能满足能量需求外，不是最佳的能量供应源。

与同量脂肪相比，运动后补充碳水化合物更容易促进肌蛋白的合成，因此运动员以碳水化合物取代脂肪的摄入[62]。在某些特定情况下（参见第 4 章），咖啡因和定期碳水化合物摄入有利于提高体能[63]。也有研究对咖啡因的功效提出了质疑[64]，因此，长时间比赛中是否摄入少量咖啡因以利于提高机能，应当由运动员自行决定。

15 爆发力与耐力结合项目的代谢需求

部分集体项目如足球、篮球、排球等要求将爆发力与耐力进行结合，在这些运动中，运动强度呈不规则变化，从而形成其独特的能量底物利用模式。有关集体类项目参赛运动员的营养研究显示，增加碳水化合物的摄入（达总热量的65%）可增强体能。然而，足球和篮球项目运动员的碳水化合物摄入水平普遍较低，碳水化合物的摄取量还有待大幅提高。这些运动项目中，间歇性的爆发运动在很大程度上依赖于磷酸肌酸（PCr），这意味着运动员还必须摄入足量的蛋白质（与足够的总热量）用于合成所需的肌酸，事实上大部分该类项目运动员未摄取足够的热量，从而影响了其体内肌酸的合成。本章提供了集体项目运动员营养需求相关的信息和技术，旨在帮助运动员优化糖原储备并维持良好的水合状态。另外，文中还附上了相应的解决方案，帮助运动员在赛前、赛中及赛后达到理想的营养状况。

需要结合爆发力和耐力的运动项目的营养方案

本章提供了将间歇性高强度运动和低强度运动结合的某些运动项目的一些营养信息。这些项目包括篮球、排球、橄榄球、手球及足球等，在比赛过程中都结合着不规则的高强度运动。某些个人项目中的混合强度运动也可归入此类，例如花样滑冰和网球。这些项目与单独注重卓越的耐力、爆发力或者速度的运动项目有所不同。例如，竞技体操的训练或比赛中不需要大量的有氧耐力，而马拉松运动员也几乎不需要体操运动员所表现出的瞬间爆发力。集体项目运动员必须同时注重速度、爆发力和耐力。足球运动员必须以有节奏的速度在场内奔跑，只有在踢球的瞬间要求快速地爆发；篮球运动员以平稳的有氧步伐在场内来回跑动，但每个运动员必须能够强力跳跃，以便抓住篮板球或瞬间加速以防守对方进攻。

集体项目的间歇性高低强度混合运动需要有氧代谢和无氧代谢两种途径相结合来提供能量。无氧代谢过程完全依赖于现有的三磷酸腺苷（ATP）、磷酸肌酸和肌糖原的储备量，而有氧代谢过程则是从肌糖原、血糖、脂肪及一小部分蛋白质中获取能量。如图15.1所示，在集体项目运动中，多数肌肉能量在很大程度上源于肌糖原，而其余能源中脂肪和血糖所占比重很相近。在人体内，脂肪几乎不会出现缺乏现象，但是血液中所含的葡萄糖的数量却有限，因此需要运动员随时注意在比赛过程中确保葡萄糖的持续供给。

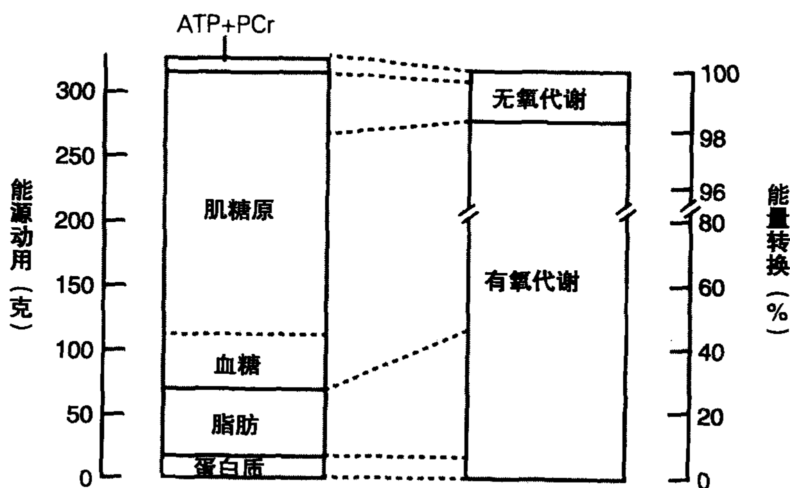


图 15.1 集体项目中相关的无氧和有氧代谢的能源物质动用，如足球。

Adapted from J. Bangsbo, 1994, "The physiology of soccer: With special reference to intense intermittent exercise," *Acta Physiologica Scandinavica* 151(Suppl 610): 1-156.

运动肌群能量需求的满足在很大程度上依赖于肌糖原和血糖水平，不仅需要在运动前摄取大量碳水化合物，还需要在运动过程中及时补充富含碳水化合物的运动饮料。对一般碳水化合物摄入（占总热量的 39%）和高碳水化合物摄入（占总热量的 65%）产能的对比研究发现，高碳水化合物饮食模式可以大幅改善间歇性运动时的体能[1]。

糖电解质饮料的摄取能够提高反复冲刺练习的训练效果[2]。糖电解质饮料能够增强人体极限下的耐力，这一点已经得到确认，近期研究又证明该类饮料在高强度、短时爆发力项目（如足球和篮球）中的效果明显。研究对象在摄入含 6%的糖电解质饮料（对照组摄入水）后，能够额外以最大摄氧量（$\dot{V}O_{2max}$）的 120%~130%的强度进行 7 次往返冲刺跑。研究发现，在比赛的最后 5~10 分钟内，如果运动员通过正确方法补充了含糖电解质运动饮料，可大幅提高冲刺能力。

一项类似研究也发现，运动饮料（即糖电解质饮料）可以帮助运动员在由间歇性冲刺、快速跑和慢跑构成的高强度赛事中维持高强度运动的能力[3]。该结果为如何在典型的篮球或足球比赛过程中维持高强度运动能力再一次提供了有效的参考信息。

已有研究对单独摄入以及结合摄入运动饮料中的各种成分（电解质、液体或碳水化合物）的效果进行了评估，发现单一补充水或单一补充碳水化合物体能恢复的速度比单一补充电解质约快 6%；而碳水化合物和水结合提升体能的速度比单一补充电解质快 12%，比单一补充水或碳水化合物快 5%~6%[4]。这些研究结果不仅证实了碳水化合物能够增强液体吸收，而且证实了碳水化合物因储备有限而需要在训练过程中及时补充的理论。在高强度运动过程中，碳水化合物扩散和储备的需求更高，因此运动员随时需要进行适量和及时的碳水化合物补充[5]。研究同时还发现。训练过程中补充碳水化合物的最佳浓度为 6%~7%，这一浓度不仅有利于液体的吸收，还有利于碳水化合物的有效输送。超过 8%的碳水化合物溶液将减缓水分的吸收[6]。

篮球运动员跳起抓球或足球运动员向球冲刺并跳起踢球的动作与力量训练的某种形式类似。一项抗阻训练研究发现，在体重相同的情况下，补充碳水化合物的运动员完成训练的组数要高于单纯补水的运动员。补充碳水化合物后，运动员的血糖和血乳酸浓度均较高，表示体内有更多的碳水化合物可用于维持高强度训练[7]。对比 Gatorade、Powerade 和 All Sport 三种运动饮料发现，Gatorade 比 Powerade、All Sport 两者能更快地促进液体吸收[8]。这种差异在于三者含有的碳水化合物类型和浓度不同。Gatorade 的碳水化合物浓度水平符合当前所有研究结果指示的指标（6%），并含有适量的蔗糖和葡萄糖。而 Powerage 和 All Sport 的碳水化合物浓度较高，主要来自于果糖。果糖可引起肠胃不适，果糖在吸收后还需要在肝脏中进行二次转化，因此维持血糖的效率也较低。

在脱水的情况下，进行反复或持续高强度运动的运动员体能会有所下降[9]。含 6% 碳水化合物的溶液有助于液体输送，因此，集体项目运动员在选择补水饮料时，应当考虑到这一点。美国运动医学学会建立的液体补充指导准则见表 15.1[10]。

表 15.1 美国运动医学学会液体补充指导准则

时间	总量	替代方案
训练前 2 小时	喝 500 毫升（0.5 升）	无
训练过程中	每小时喝 600~1200 毫升（0.6~1.2 升）	每 15~20 分钟喝 150~300 毫升
训练后	基于训练前后的体重变化，补充足量液体以恢复体重（480 毫升液体=1 磅体重）	补充所需液体量的 150%以恢复体重。这部分液体为补充尿液流失，仅补充体重损失液体的 100%时，可能导致脱水

目前已有多项涵盖了训练和比赛前后及其过程中如何补充能量和液体方面的通用营养指导准则，这对于所有参加间歇性最高强度运动的运动员来说十分重要。具体指导准则见表 15.2。

这些准则有两个关键点，即在普通的多样化饮食中注意液体和碳水化合物的合理补充。运动员应寻找可行性方案，充分利用所有的时机补充液体和碳水化合物。有一种传统的观点认为，含有碳水化合物的饮料只对持续时间超过 60 分钟的耐力（有氧）运动有积极作用，而近期的研究结果否定了这一理论。运动体能的最佳指标是血容量、糖原和葡萄糖的维持水平。通过以下方案可帮助不同项目的运动员达到提高水合状态及维持碳水化合物水平的目的。

表 15.2 与间歇性高强度运动项目相关的一般准则

一般营养补充	保持高复合碳水化合物、中蛋白质及相对低脂的饮食。尽量摄取多种不同的食品，以保证全面吸收身体细胞所需的各种营养物质。采取多种摄入途径，确保细胞不会过量接触食品中经常存在的有害健康的化学物质
训练前或赛前的营养补充	进食富含淀粉、易于消化的高碳水化合物类食品。在正餐和训练课程或竞赛之间摄取足量的液体和食品。如果可能的话，训练前 3 小时加餐进食高碳水化合物类食品
训练或比赛过程中的营养补充	摄入浓度为 6%~7%的碳水化合物运动饮料，该饮料中应同时含有少量盐以促进比赛过程中水分的补充。根据环境温度、湿度及出汗量，每小时摄入 600~1200 毫升液体 部分运动项目在比赛过程中没有规定固定的休息时间，在这种进度下补充液体较为困难。此时运动员和教练员应制订明确的液体补充方案，可在比赛暂停时执行。还应保证有足够的人员能够在比赛的任何间隙及时快速地为每个运动员提供液体补充
训练后或比赛后的能量补充	饮用运动饮料以快速补充流失的水分和消耗掉的糖原储备。运动中的每磅体重损失应补充约 720 毫升（每公斤体重补充 1.5 升）液体。运动员在运动后立即补充碳水化合物可有效恢复肌糖原储备。因此，在运动后 2 小时内立即补充高血糖指数食物（即含有大量天然糖分的食物或易于吸收转化为糖分的食品），在下一餐前至少每小时补充 50 克（200 千卡）的碳水化合物。总之，在训练或比赛后 24 小时内，尽量保证每磅体重损失补充约 4 克碳水化合物

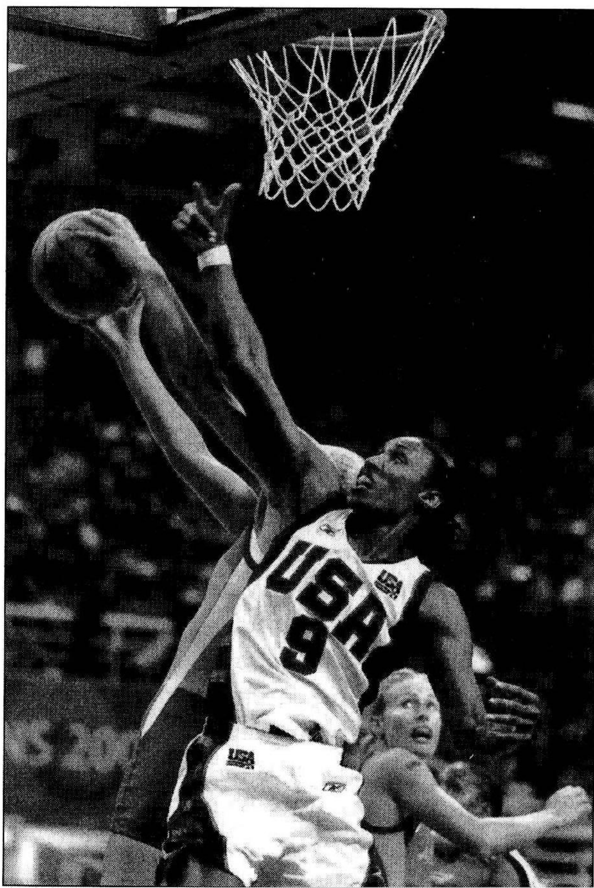
Adapted, by permission, from C. Williams and C.W. Nicholas, 1998, "Nutrition needs for team sport," *GSSI Sports Science Exchange* 11(3): 70.

无氧和有氧代谢混合供能运动项目的案例

部分运动要求有氧代谢和无氧代谢相混合。这些运动员有时进行最大强度运动（无氧），而其他时间则进行中等强度运动（有氧）。例如，足球前锋在场上慢跑，防守其区域，设法获取突破位置，当球传向他时，他将以最大速度向球冲刺。这种无氧和有氧相混合的运动需要特殊的营养方案，接下来我们将在以下几项运动中举例说明。

篮球

篮球是集体协作和个人努力的最佳结合，由两个后卫、两个前锋和一个中锋组成，所有球员在整场比赛的32分钟（高校）或48分钟（职业）内都扮演着防守和进攻的双重角色。篮球运动风靡全球，男篮、女篮各领风骚，自1936年柏林奥林匹克运动会后，篮球更是成为奥林匹克赛事中众人瞩目的焦点。而在众多连胜纪录中，最令人难忘的是约翰·伍登执教的UCLA男子篮球队所创下的10次国家联赛冠军纪录（7连胜）。多年后的一次访谈中，约翰·伍登的一名球员透露，伍登能够让其球队在场上保持最佳状态，而其中的一个秘诀就是，确保球员在训练时的运动强度高于比赛时对抗任何对手时的强度。同时，他还十分注重所有球员的饮食和休息质量，使他们能够100%的发挥。



篮球是一项高强度运动，通常每周训练6天，还需参加一场全力的比赛。这一安排使篮球运动员需要补充足够的营养，以保持其糖原储备。

有关间歇性高强度运动的研究显示，在比赛前后和比赛过程中补充适当食物和液体能够增进篮球运动员的身体机能。对大学篮球教练员及其他运动教练员营养学知识的调查研究发现，只有33%的教练员有自信能正确应对有关营养学的问题[11]。该项调查还发现，教练们认为大学球员有进食过量垃圾食品、普遍有不良饮食习惯及饮食失

衡等问题。这种不良的饮食习惯影响了维生素和矿物质的吸收。在男女篮球运动员中都普遍存在缺铁、贫血以及缺铁性贫血等现象[12]。铁营养状况不良将对有氧运动能力产生极大的负面影响，进而影响体能。一项对男女篮球运动员的调查发现，女性运动员的饮食中缺乏大量的营养物质，从而导致过度依赖营养强化剂[13]。所有调查结果显示，大部分篮球运动员对在比赛中保持最佳状态未采取妥善的方案。

激烈的体育运动会导致细胞间脂质氧化产物—自由基（如过氧化物）的增加。各项研究继而转向评价篮球运动员在赛季中服用α-生育酚（维生素 E）、β-胡萝卜素（维生素 A 前体）、抗坏血酸（维生素 C）等抗氧化补充剂后，是否能够抑制典型脂质过氧化物的产生[14, 15]。尽管这种方法看上去有所裨益，但大量服用抗氧化补充剂同时也会引起其他问题。十分值得注意的是，营养补充剂的过量使用会使运动员容易出现误服兴奋剂的潜在危险[16]。减少自由基产生的最佳选择应为多食新鲜水果和蔬菜，这些食品中含有大量的碳水化合物和抗氧化物。

因此，篮球运动员应考虑以下营养学相关因素以保证其体能。

*利用篮球比赛中的中场休息补充液体和碳水化合物。*篮球运动员的优势在于，比赛中有 10~20 分钟的中场休息。这对于运动员来说是一个绝佳的时机，可通过饮用运动饮料补充消耗的液体和碳水化合物。部分运动员发现食用一些全麦饼干和喝水可能会使其状态更佳。但是运动员应注意避免食用糖果等食品，虽然糖果等含有部分碳水化合物，但脂肪含量过高。运动员十分需要碳水化合物和液体，食用其他任何食品都将降低其必需物质的吸收能力（表 15.3）。

*休息时间应用来保持水合状态。*比赛中，无论运动员自身是否需要，都应当利用裁判员暂停或换人时的休息时间饮用少量运动饮料。饮用少量含有碳水化合物的饮料应作为比赛计划的一部分，这与组织正确的集体防御或进攻同样重要。

*避免频繁的训练和比赛导致运动员体力透支。*篮球运动员通常每周训练 6 天，每天训练两次。在此基础上，赛程安排通常需要他们每周至少进行一场比赛，显而易见，这便是篮球赛季会使运动员体力透支的典型原因。因此，运动员应进食足量的碳水化合物，确保足够的总能量摄入，并保证最佳的糖原储备。优化糖原储备对篮球运动员的体能至关重要，而且还要满足总能量需求，帮助维持肌肉量。教练们常会抱怨说，很多运动员难以将体重保持在期望水平，这表示运动员们没有进食足量的食物以支持训练和比赛中的激烈运动。在赛季中能够保持肌肉状态的球队，其运动员的体能和持久力比其他球队更强。

*让下半场表现与上半场同样出色。*能够在比赛下半场保持力量和耐力的球队将比其他球队获得更好的成绩。要达到这一目的，不管是否觉得口渴，运动员都应形成频繁饮用碳水化合物饮料的习惯。研究结果显示，与仅饮用水或根本不进行液体补充的运动员相比，频繁补充运动饮料的运动员能够保持更高的力量和耐力。

表 15.3 篮球运动员的液体和碳水化合物需求

高强度训练	针对每日进行高强度训练并需要提高日常肌糖原恢复水平的篮球运动员	每日补充 7~10 克/公斤体重或补充 3.2~4.5 克/磅体重（体重 155 磅的运动员每日需补充 500~700 克）	训练前后及训练过程中，每日至少 10~12 杯（2.5~3 升）以上液体
中强度训练	针对每日中等强度训练，训练时间低于 1 小时的篮球运动员	每日补充 5~7 克/公斤体重或补充 2.3~3.2 克/磅体重	训练前后及训练过程中，每日 10~12 杯（2.5~3 升）以上液体
训练前	为训练或比赛提高能量利用率和提前补充液体	训练前 1 小时补充 1 克/公斤体重；或训练前 2 小时补充 2 克/公斤体重；训练前 3 小时补充 3 克/公斤体重；训练前 4 小时补充 4 克/公斤体重	480 毫升或 2 杯（约 0.5 升，不含咖啡因和酒精）
训练过程中	在中、高强度篮球训练和比赛中提供额外的碳水化合物	30~60 克/小时	每 15 分钟至少 150~300 毫升液体以补充出汗损失的水分
恢复	为了在高强度的训练或比赛后，尤其在赛季中的对抗比赛和日常训练后迅速恢复并补充液体	训练后立即以及其后每两小时每公斤体重补充 1~1.5 克的高血糖指数碳水化合物饮料和食物；24 小时后总碳水化合物摄入量为 7~9 克/公斤体重或 24 小时内 500~600 克	训练过程中损耗的每磅体重补充约 600 毫升液体（约 3 杯）

Reprinted, with permission, from J. Burns, J.M. Davis, D.H. Craig and Y. Satterwhite, 1999, "Conditioning and nutrition tips for basketball," *GSSI Roundtable*, #38, 10(4).

花样滑冰

花样滑冰的名字来自于“花样”，即要求参赛者在冰上完成所要求的图案。运动员需按照冰上的图案进行表演，相似度越高得分越高。1991 年这种图案在国际滑冰赛事中被取消，并最终被所有比赛所淘汰，但该运动项目依然保留了“花样滑冰”的名称。花样滑冰运动员力求流畅、优雅、华美、轻松的表演。花样滑冰运动员使用的短冰刀和刀尖使其能够进行复杂的旋转，并完成爆发性跳跃。花样滑冰包括三项独立赛事，运动员需根据各项赛事进行专项训练：个人花样滑冰、双人花样滑冰和冰上舞蹈。个人滑冰为单一性别比赛（即男子花样滑冰、女子花样滑冰），而双人滑冰和冰上舞蹈为男女混合赛事。

在个人花样滑冰中要求展现优雅和轻松的技能，但完成高难度的旋转和跳跃是提高竞争力的关键，这对于相对较强壮、矮小的运动员来说更容易实现。由于空气密度和冰面阻力是相同的，体型高大的运动员要比矮小的运动员承受更大的空气阻力，需要以更

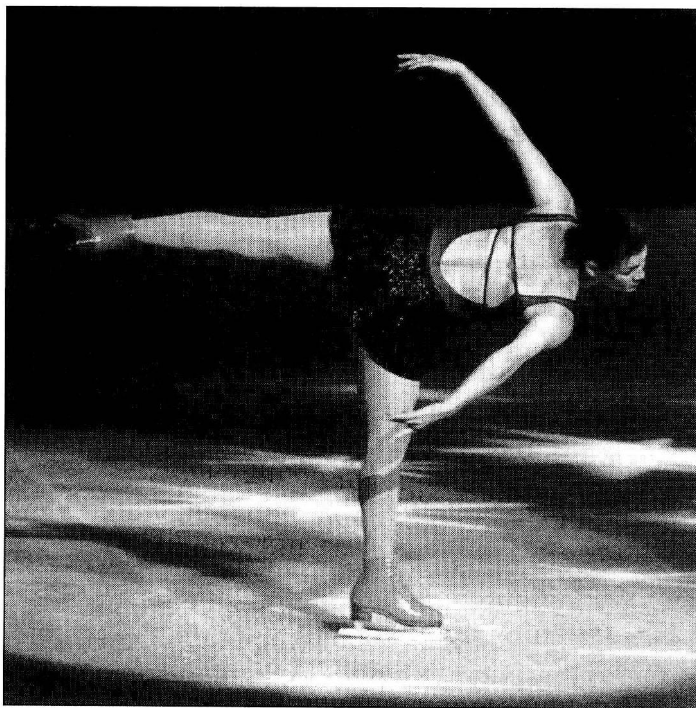
大的力度来完成相同的技巧。所以，国际赛事中顶级花样滑冰运动员的体型日趋矮小。

在双人花样滑冰中，男运动员通常要比女运动员高大强壮。所有看过双人花样滑冰比赛的人都能够清楚地理解这一搭配的原因：在比赛中，男运动员要频繁地举起或抛出女运动员，如果对方体型较为矮小的话，完成这些动作的难度也就相对较低。选择正确的体型搭配并非易事，而搭配不当的运动组合，即使双方都是优秀的个人滑冰运动员，也难以在赛场上表现最佳。

冰上舞蹈项目则对男女体型搭配的要求较低，因为比赛中不存在抛跳或抬举动作。冰上舞蹈中多变的脚部动作和优美的舞姿是其名称的完美诠释。持续的动作和较低的力量要求使冰上舞蹈成为三项滑冰赛事中最佳的有氧运动。

研究结果发现，花样滑冰运动员的有氧能力不强，但具有能够生成高爆发力的能力[17]。当他们需要时，他们的肌肉可以在瞬间产生极大的爆发力。研究发现年轻的女性滑冰运动员的饮食模式大多为高脂肪、高蛋白质，而碳水化合物、钙和铁的摄入较低[18]。花样滑冰运动员的营养补充剂摄入量较高，65%的男子运动员和76%的女子运动员都定期摄入营养补充剂（主要为多种维生素和多种矿物质补充剂）[19]。他们食用营养补充剂的三个最主要的原因是：预防疾病、提供更多的能量和补充膳食的不足。

花样滑冰参赛运动员摄取的能量不足是长期以来令人担忧的问题，但近期的研究结果显示[20]，除了有一小部分滑冰运动员确实存在饮食紊乱的情况外，其他大多数的滑冰运动员不存在能量摄入不足的现象。一旦发生这种情况，营养物质的摄入量可能降低。分析花样滑冰运动员的每日热量摄入分布的确发现了一些问题，运动员应予以纠正，从而优化体能，提高大脑的注意力[21]。



比赛前，花样滑冰运动员需要补充足够能量，为肌肉提供完成高难度冰上动作所需的能量。

与其他优秀运动员一样，花样滑冰运动员也会受伤。双人滑冰运动员受伤率之高尤其值得警惕。一项研究显示，成年女性双人滑冰运动员平均每9个月会有1.4次严重的运动损伤，而相同时间段内，其他滑冰运动员发生严重运动损伤的次数平均仅为0.5次[22]。运动损伤中最常见的是下肢损伤，这主要与滑冰鞋的设计有关，还可能与不良的体能状况有关[23]。

因此，花样滑冰运动员必须考虑以下营养学相关因

素以保证其运动体能。

冰上运动对外型要求较高，因此许多滑冰运动员过分关注体重。可通过摄取低脂肪、适量蛋白质、高复合碳水化合物的饮食模式，并辅以良好的训练和健身计划来达到最佳体重。尽管节食并不能达到最佳体重，但大量事实表明，这仍是大多数滑冰运动员的首选体重控制方案。对于获得体能和达到期望的体形来说，从碳水化合物中获得足够的能量都是极为重要的。能量摄入不足会导致滑冰运动员发生营养不足、低能量消耗和高体脂水平等现象，这些因素会增加运动员受伤和疾病的风险，并会降低运动员的体能。

花样滑冰中的跳跃大部分依赖于磷酸肌酸和肌糖原供能。以碳水化合物为主，辅以规律的肉类（提供肌酸或合成肌酸的蛋白质）膳食摄入对滑冰运动员十分重要。对于素食者来说，保持肌肉量和合成肌酸的关键在于保证足量的总蛋白质和总能量摄取。如果没有充足的磷酸肌酸和肌糖原储备，比赛中花样滑冰运动员在跳跃的时候所需的肌肉快速爆发就无法完成。冰上舞蹈比赛对于肌糖原的需求高于磷酸肌酸，因此，该类运动员摄取少量或减少蛋白质（或肉类）摄入将更有利于比赛，但前提是摄入足够的总能量以保证体能。

训练时间大大超过表演时间。尽管花样滑冰表演持续时间仅为几分钟，但训练时间可能持续一个小时甚至更长，而且每日需多次训练，训练时间多在清晨和傍晚（因结冰时间难以掌控导致）。训练计划使滑冰运动员不得不改变饮食模式以适应其训练需要。晨练时，滑冰运动员应在开始训练前进食并饮水（即使一片吐司面包和一小杯果汁也好过空腹）以保证肌肉力量。傍晚训练时，训练前2小时和训练后应进行小量加餐，从而保证肌肉力量。空腹训练，无法使肌肉得到更好的锻炼，也达不到训练目的。确保正常的水合状态有着明显的益处，血浆电解质浓度过高提示运动员的水合状态不佳[24]。

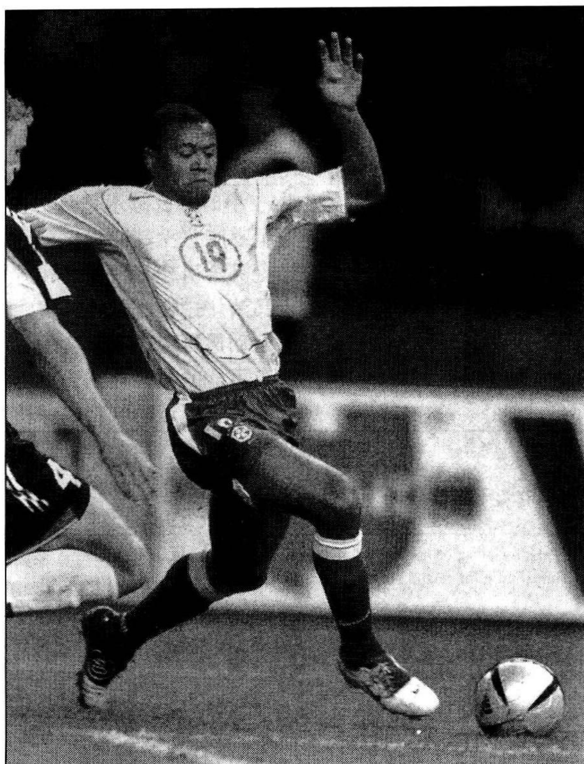
足球

足球运动风靡全球，美国热衷足球的人数也不断攀升。从健康角度来看，足球是一项非常好的运动，在比赛中，每个球员的平均跑步距离约为6英里（10公里）[25]。在足球场上跑步使运动员比同龄同体重的人拥有更高的骨密度[26, 27]。尽管这项运动大部分为有氧运动，但还包括一部分无氧运动，如球员向球冲刺时。在足球比赛中，下半场的活跃程度往往无法与上半场相提并论，主要是肌糖原储备不足。事实显示，在比赛前后和过程中食用碳水化合物类食品对降低球员疲劳感有很大帮助[28]。遵循这一方案可以为运动肌肉保持足够的葡萄糖和糖原。

对专业足球运动员的营养摄入研究发现，尽管足球运动员对能量和营养的需求极高，但其摄取量却几乎与普通人相同[29, 30]。足球运动员的训练饮食结构建议为：碳水化合物占总热量的55%~65%，蛋白质占总热量的12%~15%，脂肪占总热量的比重低于30%[31]。但该研究和其他调查结果均显示，运动员食物中的碳水化合物含量较低，而脂肪含量较高[32]。对全美大学体育协会（NCAA）甲级女子足球运动员的调查结果显

示，她们用以提供糖原补充的碳水化合物摄入量甚至达不到建议量的最低要求（7~10 克/公斤体重），而蛋白质和脂肪的摄入量则高于建议水平[33]。事实上足球运动对于糖原储备有极高的要求，如果糖原储备不足可导致过早疲劳，并降低比赛体能[34]。

一项研究对间歇性高强度运动中碳水化合物和铬的吸收对于抗疲劳的综合及单独效应进行了评估，进一步肯定了碳水化合物在运动中（如足球）的体能增进作用。这项研究的结果肯定了碳水化合物的益处，但否定了铬的益处[35]。充足的能量摄入也同样重要，男性摄取量约为 4000 千卡，女性摄取量约为 3200 千卡。如果没有充足的能量摄入，无论如何进行膳食补充，也无法恢复糖原储备。另外，热量摄入不足将对磷酸肌酸（瞬间快速爆发时所需）的最佳合成产生负面影响。一项有关肌酸补充是否增强年轻足球运动员的体能的研究强调了这一点，如果没有充足的能量摄入，即便补充肌酸也难以实现增强运动员体能的目的[36]。



在赛季中，职业足球运动员每日需要摄取约 4000 千卡热量以补充比赛中所消耗的大量能量。

因此，足球运动员必须考虑以下营养学相关因素以保证其运动体能。

*足球比赛是持续运动，球员很难补充水分。*足球运动员在比赛过程中可能没有机会进行规律的液体补充，因此赛前的水合状态尤为重要。一旦有机会（在中场休息和裁判员叫暂停时），运动员应当饮用运动饮料来补充液体和碳水化合物。一项针对足球运动员的研究发现，随意摄取液体的模式具有极大的可变性，多数球员无法充分地补充液体[37]。

多数调查均提示，足球运动员对碳水化合物的摄取并不理想，而碳水化合物恰恰是足球运动员达到最佳体能的关键所在。大多数球员的膳食摄取与普通人几乎相同，碳水化合物类摄入量仅占总热量的 50%。因此，球员应有意识地提高碳水化合物摄入。

*赛前糖原储备是关键。*足球运动员大多数时间都在场上来回奔跑，需要消耗大量肌糖原。赛前糖原储备越充足，比赛时的耐力越持久。为获得较佳的糖原储备，运动员平时就应该摄取足量的碳水化合物和液体，赛前加餐时也应以碳水化合物类食品为主（表 15.4）。

表 15.4 足球运动员所需的能量和液体

时间	建议
日常训练过程中	• 每日每公斤体重消耗 8~10 克碳水化合物，或占总热量的 60%~70% • 补充足量液体以保持体重。如果尿液颜色偏深提示脱水
赛前	• 赛前 3~4 小时进食碳水化合物含量高且易于消化的熟悉食物 • 避免进食高脂（尤其油炸）食品 • 高纤维食品会引起肠胃不适和排气，应避免进食 • 固体食品消化过慢，即将开赛时应避免进食 • 紧张的运动员可考虑流质食品
赛中	• 利用所有可能的机会补充含糖电解质运动饮料 • 中场休息时饮用运动饮料以保持赛前体重
赛后	• 赛后立即进食适量糖类食品，帮助机体补充糖原 • 赛后 2~3 小时内按每磅体重损失补充 720 毫升的量补充液体（首选运动饮料） • 24 小时内补充足够的液体和食物使体重恢复至赛前水平

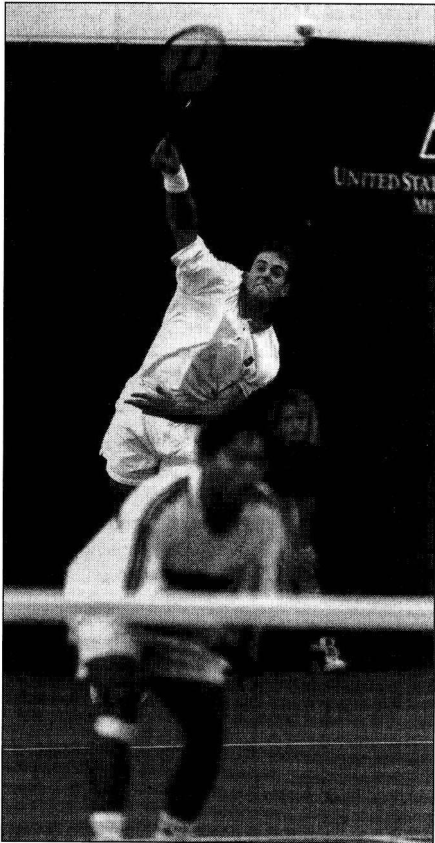
Adapted, by permission, from J. Lea, D. Richardson, H. O'Malley, Y. Satterwhite and M. Macedonio, 2000, "Maximizing performance and minimizing injuries in soccer," *GSSI Roundtable*, #39, 11(1).

网球

人们通常认为网球同时具有有氧和无氧运动的元素，但其主要的能量供给来自于无氧代谢系统[38, 39]。长时间高强度训练对能量的需求高度依赖于碳水化合物，此外，补充碳水化合物可在网球比赛的最后阶段提高球员的击球质量[40]。因此，网球运动员应确保有足够的碳水化合物为肌肉供能。

尽管碳水化合物的摄取情况令人担忧，但不少运动员已经注意到这一点。有资料显示，大学网球运动员（甲级）已受到良好的训练，能够在炎热的环境中补充足够的液体。一项研究对在炎热环境中连续数天进行比赛时运动员的液体和电解质平衡状态进行了评估，运动员们成功保持了总体平衡，未发生任何热相关疾病[41]。

研究数据还显示，年轻网球运动员的能量摄入状态明显优于体操和游泳等其他运动员。已知月经来潮在很大程度上也依赖于充足的能量摄入。女性首次月经年龄通常为 13 岁，能量摄入不足的女性月经初潮的年龄可能推迟长达 2 年。而网球运动员首次月经年龄为 13.2 岁，仅有极小的推迟



许多网球巡回赛都在室外闷热的场地进行，而这种条件下最易发生热相关疾病。运动员避免这一潜在风险的关键是在比赛休息的过程中进行液体补充。

(0.2 岁)，这说明其能量摄入良好[42]。网球运动通常不需要担心“控重”问题。事实上，保持较好机能状态的关键应在于身体的健康状况，而非最终体重，事实也证明大学女子网球运动员比其他年轻女性患饮食紊乱的风险更低[43]。

因此，网球运动员应考虑以下营养学相关因素，以保证体能。

*网球运动通常在室外场地进行，场地的反射温度高于环境温度。*如果网球运动员不能采取有效方案及时补充液体，场地的热度则将快速引发热相关疾病。运动员应警惕热相关疾病的征兆（如口渴、乏力、视线模糊、无法正常讲话等），如果自己、搭档或对手出现热相关疾病的征兆，应及时采取救治措施（表 15.5）。

表 15.5 热紊乱的症状

热痉挛	运动中或运动后出现无意识的肌肉痉挛，通常发生在运动中运动强度最大的肌群
热衰竭	体虚，心率快，伴有低血压、头疼、眩晕及严重虚弱，血容量下降。体温即便未上升至危险水平，但出汗降低，体温升高的风险也已增加。这种情况下，运动员应停止训练或比赛，到背阴区域或凉爽的房间休息，同时补充液体
中暑	体温调节机能丧失，特征为无法排汗、循环系统衰竭甚至导致死亡。应立即采取急救措施，通过冰块、将中暑者置于冷水中或酒精擦拭对身体进行冷降温。此为紧急情况，应立即就医

*网球比赛的奇数场次后需要比赛双方换场地，此为常规休息时间。*正因为比赛中的这些常规休息时间，网球运动员才能够在比赛前后保持相对良好的水合状态。碳水化合物补充能够提高比赛最后阶段的击球能力，因此，运动员应确保所饮用的饮料中含有适量的碳水化合物。在比赛中饮用该类饮料可在较长的时间内保证高强度运动能力。

多年前，科学研究的重点在于耐力运动项目，直到近些年，力量与耐力相结合的运动项目才引起了广泛的关注。这些研究表明，即使在运动时间短于 1 小时的情况下，碳水化合物的摄取也能够有效增强体能。这一发现十分重要，因为传统观念认为，运动时间低于 1 小时时最佳的液体补充饮料是水，超过 1 小时的才需要补充含有碳水化合物的运动饮料。现在我们了解到，即使是短时运动，碳水化合物的摄取也可起到增强体能的作用。该类运动项目（篮球、足球、网球等）通常需要消耗大量热量，因此，运动员需制订适当的膳食计划，保障足够能量摄入，才能在长时间劳累的赛季中维持肌肉量。

第5篇

专项运动的营养计划

16 力量速度型运动项目

如何最大程度提高相对力量，以最小体重达到最强的爆发力是力量型运动员最为关注的问题。为达到这一目的需拟定一个膳食计划，从而在维持或增加肌肉量的同时，将体脂百分比控制在可能范围内的最低值。力量型运动员每天每公斤体重蛋白质的摄入量控制在 1.2~2.0 克之间较为理想，蛋白质摄入量的最低值适用于那些需要维持肌肉量的运动员，而最高值则适用于需要增加肌肉量的运动员。考虑以下两个因素是十分必要的：（1）大多数运动员（素食者除外）仅通过食物即可摄取足量蛋白质，摄入水平通常会超过 2.0 克/公斤体重；（2）摄入足量蛋白质的同时提高总能量的摄入才能增加肌肉量。运动员摄入足够的能量才能维持现有体重和肌肉量，摄入额外的能量方可增加体重和肌肉量。通常运动员每日额外摄入 300~500 千卡能量，并辅以适度力量训练以促进肌肉量的增加。

一些项目要求运动员在比赛前降低体重至专项竞赛所要求的体重（例如拳击、摔跤、赛马），而一些项目出于形体和技能因素的考虑，要求运动员以尽可能低的体重达到最大爆发力（例如体操和跳水）。事实证明，上述两类项目的运动员均可通过膳食计划限制能量的摄入或脱水达到目标体重。然而，限制能量摄入和脱水的方法并不适宜也不健康。限制饮食很可能导致瘦体重分解代谢加剧，对相对力量产生不良影响，而脱水则会造成体能的下降。由于限制饮食和脱水均无法达到运动员的最终目标，且具有一定危险性，甚至可能引起严重的饮食紊乱，因此并不适合作为力量型运动员的膳食计划。运动员应考虑采取有利于优化体能和水合状态的膳食计划。要达到这一目的需采取包括6餐以上的饮食模式。此模式与普通的每日三餐的饮食模式不同，因此相对较难实现（通常人们对惯常的饮食模式较为适应）。然而少食多餐的效果显而易见。少食多餐并经常饮水的运动员在身体状态和竞技成绩方面均表现出明显优势，应鼓励他们保持这一饮食模式。

本章的膳食计划说明

本章包括了2500千卡、3500千卡和4000千卡三种能量摄入的膳食计划。为帮助运动员了解如何将膳食计划与其训练计划完美结合，我们在这些膳食计划中使用了不同时间的训练计划。在附件各膳食计划表的最右栏将看到一项“替代食物”列表。替代食物是可选择的能量及营养含量相近（并非完全相同）的食物。例如，若不喜欢午餐列表中烤牛肉三明治的烤牛肉，可从替代食物列表中找到喜欢的相似食物作为替代品。本章旨在为运动员提供膳食指导，以此作为其制定适合自身最佳膳食计划的起点。然而这些饮食的能量水平并不完全适用于所有人。稳定的体重及健康的体脂水平是最佳的膳食指导，应在正确的时间内摄入适量的能量。运动员应确定适合自身的能量摄入水平。同时还需了解，本膳食计划中所列的水分摄入量可能远低于实际需要的摄入量。运动员应补充足量的食物和水，在训练比赛的过程中可能还需要摄入更多的运动饮料。运动员应饮用足量饮料以保持最佳身体水分含量，其尿液清澈为佳。

摄入 2500 千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
清晨加餐	全麦百吉饼 果酱 葡萄柚	1/2 个 2 茶匙 1/2 个	145 37 60 膳食能量：242	2 份淀粉类食物 1 份水果 1/2 份水果
上午训练	运动饮料（6%）	480 毫升	120 膳食能量：120	2 份水果
早餐	玉米片 全麦麦片 蓝莓 亚麻籽 牛奶（1%）	3/4 杯 1/4 杯 1/2 杯 1 汤匙 240 毫升	98 39 41 36 110 膳食能量：324	1 份淀粉类食物 1/2 份淀粉类食物 1/2 份水果 1 份脂肪类食物 1 份乳制品
早午餐	杏仁 葡萄干 新鲜苹果，中等大小	6 个 4 汤匙 1 个	42 108 72 膳食能量：222	1 份脂肪类食物 2 份水果 1 份水果
午餐	墨西哥玉米煎饼 碎牛肉，脂肪含量 5% 炸豆泥，无脂 车打乳酪碎 萨尔萨调味汁 面粉薄饼（7~8 英寸） 胡萝卜丝沙拉配 柠檬汁 鲜梨	 60 克 1/4 杯 2 汤匙 1/4 杯 1 个 1 杯 2 汤匙 1 个	 109 55 50 20 159 50 8 96 膳食能量：547	 2 份瘦肉蛋白类食物 1/2 份淀粉类食物 1/2 份高脂蛋白类食物 1 份蔬菜 2 份淀粉类食物 2 份蔬菜 – 1 份水果
下午加餐	酸奶，软包装，脱脂 香草威化饼	1/2 杯 5 个	115 88 膳食能量：203	1 份乳制品 1 份淀粉类食物
傍晚训练	运动饮料（6%）	480 毫升	120 膳食能量：120	2 份水果
晚餐	烤鸡胸肉（去皮） 烤土豆 酸奶油 蒸青豆 卷心菜沙拉拌 菜籽油 醋和盐	1 份（90 克） 1 大份 2 汤匙 1 杯 1 杯 1 茶匙 按口味添加	142 188 60 44 21 41 0 膳食能量：496	3 份瘦肉 2 份淀粉类食物 2 份脂肪类食物 1 杯 1 份蔬菜 1 份脂肪类食物 –
夜间加餐	白干酪（脂肪含量 4%） 果汁加桃肉果粒	1/2 杯 1 杯	120 96 膳食能量：216	2 份瘦肉蛋白类食物 2 份水果
总计	总能量：2490 碳水化合物（克）：647（67%） 蛋白质（克）：145（17%） 脂肪（克）：99（16%） 膳食纤维（克）：53.3	铁（毫克）：25 锌（毫克）：12 钙（毫克）：1156 钠（毫克）：3402 镁（毫克）：412 钾（毫克）：4663	VC（毫克）：198 VB_1（毫克）：1.35 VB_2（毫克）：1.79 烟酸（毫克）：41.0 VB_6（毫克）：3.18 VB_{12}（毫克）：6.0 叶酸（微克）：595	VA（国际单位）：18963 VD（国际单位）：125 VE（毫克）：6.9 VK（微克）：136

此 2500 千卡能量摄入膳食计划适用于早晨和傍晚训练的运动员，如优秀的体操运动员。
（本膳食计划反映了一名女运动员进行较大负荷运动一天的能量需求，该运动员 17 岁，体重 45 公斤，身高 1.50 米。）

摄入 3500 千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
早餐	全麦麦片	1.5 杯	175	2 份淀粉类食物
	牛奶（1%）	1.5 杯	165	1.5 份乳制品
	草莓	1 杯	49	10 份水果
	餐包（全麦）	1 个（小）	75	1 份淀粉类食物
	橙汁	1.5 杯	165	3 份水果
	人造黄油	1 茶匙	35	1 份脂肪类食物
	果酱	1 茶匙	19	1/2 份水果
			膳食能量：683	
早午餐	原味百吉饼	1/2 个（中等大小）	160	2 份淀粉类食物
	奶油乳酪	1 汤匙	50	1 份脂肪类食物
	苹果汁	240 毫升	110	2 份水果
			膳食能量：420	
午餐	烤牛肉三明治			
	烤牛肉片（瘦）	4 片（共 60 克）	100	2 份中脂蛋白类食物
	全麦面包	2 片	138	2 份淀粉类食物
	蛋黄酱	1.5 茶匙	52	1.5 份脂肪类食物
	生菜	1 片	0	随意替换
	土豆沙拉	1 杯	325	3 份淀粉、3 份脂肪类食物
	酸梅汁	1 杯	144	2.5 份水果
	桃	1 个中等大小（新鲜）	40	1 份水果
			膳食能量：799	
下午加餐	苏打饼干	10 块	130	1.5 份淀粉类食物
	苹果	1 个中等大小	72	1 份水果
	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	480 毫升	120	2 份水果
			膳食能量：322	
傍晚训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	480 毫升	120	2 份水果
			膳食能量：120	
晚餐	鸡肉炒面	2 杯	365	3 份淀粉、3 份瘦肉蛋白、1 份脂肪
	白米饭	2 杯	411	4 份淀粉类食物
	橘子	1 个，新鲜	62	1 份水果
	茶	1 杯	0	随意替换
	糖（加入茶中）	1 茶匙	23	1/3 份水果
			膳食能量：861	
夜间加餐	牛奶（1%）	1 杯	110	1 份乳制品
	巧克力脆皮全麦饼干	5 块	339	1 份淀粉类食物
			膳食能量：449	
总计	总能量：3654	铁（毫克）：23	VC（毫克）：446	VA（国际单位）：3072
	碳水化合物（克）：604（67.2%）	锌（毫克）：6.2	VB_1（毫克）：1.99	VD（国际单位）：270
	蛋白质（克）：107（11.9%）	钙（毫克）：1278	VB_2（毫克）：1.1	VE（毫克）：2.38
	脂肪（克）：83（20.9%）	钠（毫克）：7066	烟酸（毫克）：15.59	VK（微克）：12.98
	膳食纤维（克）：53	镁（毫克）：324	VB_6（毫克）：1.46	
		钾（毫克）：2902	VB_{12}（毫克）：0.41	
			叶酸（微克）：552	

此 3500 千卡能量摄入膳食计划适用于仅在傍晚进行训练的运动员，如足球运动员。

（本膳食计划反映了一名男运动员进行大负荷训练的一天的能量需求，运动员 25 岁，体重 85 公斤，身高 1.80 米。）

摄入 4000 千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
清晨加餐	吐司（全麦）	1 片	70	1 份淀粉类食物
	葡萄汁	270 毫升	170	1.5 份水果
			膳食能量：240	
上午训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	540 毫升	135	3 份水果
			膳食能量：135	
早餐	橙汁	120 毫升	60	1 份水果
	哈密瓜（新鲜）	1/4 个，切块	115	2 份水果
	无糖麦片	2 杯	320	2.75 份淀粉类食物
	牛奶（1%）	1.5 杯	165	1.5 份乳制品
	吐司（全麦）	2 片	140	2 份淀粉类食物
	人造黄油	2 茶匙	70	2 份脂肪类食物
	果酱	1 茶匙	17	1/4 份水果
			膳食能量：887	
早午餐	百吉饼（全麦）	1 个中等大小	320	4 份淀粉类食物
	人造黄油	1 茶匙	35	1 份脂肪类食物
	果酱	2 茶匙	35	1/2 份水果
	咖啡或茶	1 杯	0	随意
	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	540 毫升	135	3 份水果
			膳食能量：525	
午餐	汉堡			
	汉堡	90 克	215	3 份精瘦肉蛋白类食物
	汉堡面包	1 个	230	2 份淀粉类食物
	番茄酱	2 茶匙	10	2 份脂肪类食物
	生菜	1 片	0	–
	番茄	2 片	12	1/2 份蔬菜
	炸薯条	1/2 杯	290	2 份淀粉类食物；2 份脂肪类食物
	香蕉	1 个中等大小	100	1 份水果
	综合蔬菜汁	240 毫升	50	2.5 份水果
			膳食能量：907	
下午加餐	车打乳酪	30 克	115	1 份中脂蛋白类食物
	苏打饼干	6 小块	80	1 份淀粉类食物
	葡萄	1 杯	50	1 份水果
			膳食能量：255	
傍晚训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	540 毫升	135	3 份水果
			膳食能量：135	
晚餐	烤三文鱼排	120 克	185	4 份精瘦肉蛋白类食物
	花椰菜	2 杯	90	4 份蔬菜
	人造黄油	2 茶匙	70	2 份脂肪类食物
	烤土豆	1 个中等大小	190	1 份淀粉类食物
	酸奶油	1 汤匙	30	1 份脂肪类食物
	什锦水果	1 杯，新鲜	120	1 份水果
			膳食能量：685	
夜间加餐	牛奶（1%）	1 杯	110	1 份乳制品
	爆米花	3 杯，微波	92	1 份淀粉类食物
			膳食能量：202	
总计	总能量：3971	铁（毫克）：23	VC（毫克）：345	VA（国际单位）：11749
	碳水化合物（克）：647（63.8%）	锌（毫克）：15	VB_1（毫克）：1.53	VD（国际单位）：635
	蛋白质（克）：145（14.3%）	钙（毫克）：1399	VB_2（毫克）：2.04	VE（毫克）：11
	脂肪（克）：99（21.9%）	钠（毫克）：4829	烟酸（毫克）：31.17	VK（微克）：461
	膳食纤维（克）：52.8	镁（毫克）：491	VB_6（毫克）：6.21	
		钾（毫克）：4689	VB_{12}（毫克）：5.58	
			叶酸（微克）：595	

此摄入 4000 千卡能量的膳食计划适用于早晨和傍晚训练的运动员，如游泳运动员。

（本膳食计划反映了一名男运动员进行大负荷训练的一天的能量需求，运动员 25 岁，体重 85 公斤，身高 1.80 米。）

17 耐力型运动项目

耐力型运动项目运动员的训练和竞赛持续时间均很长，因此为了保证能量供应，他们更需要摄入足够能量同时还需补充充足的水分以维持体温。脂肪是耐力型项目运动员比赛中的主要供能物质。此外，耐力型项目运动员还要保持良好的身体水分，以及碳水化合物储备，如糖原。水分和碳水化合物是保持耐力的决定性因素。尽管运动员能够很好地储存脂肪（并有分解代谢所必需的氧化酶），但糖原储备量（碳水化合物储备）却有其内在局限性。机体储备的碳水化合物可促进脂肪更彻底地氧化，为机体提供能量，同时还是更高强度运动时（如成功的耐力跑运动员在比赛即将结束时的快速“冲刺”）的主要能量来源，因此耐力运动员必须保证充足的碳水化合物储备。这正是众多耐力运动员在赛前进食大量通心粉及其他碳水化合物食物的原因。此外，碳水化合物的摄入方式也会影响糖原储备的状态。耐力运动员需要足够的时间和水分才能有效地将碳水化合物转化为糖原储备。每储备 1 克糖原需消耗 3 克水，因此水是糖原合成过程中不可缺少的一部分。由于细胞将过剩的葡萄糖转化为糖原储备需要一定时间，因此耐力型项目运动员应在赛前数天即开始频频进食碳水化合物，而不是在赛前一天集中进食大量碳水化合物类的食物。

本章的膳食计划说明

本章包括2500千卡（素食者）、3000千卡和4000千卡三种能量摄入的膳食计划。为帮助运动员了解如何将膳食计划与其训练计划完美结合，我们在这些膳食计划中引入了不同时间的训练计划。在附件各膳食计划表的最右栏将看到一项“替代食物”列表。替代食物是可选择的能量及营养含量相近（并非完全相同）的食物。例如，若不喜欢午餐列表中烤牛肉三明治中的烤牛肉，可从替代食物列表中找到喜欢的相似食物作为替代品。本章旨在为运动员提供膳食指导。需要注意的是，这些饮食的能量水平并不完全适用于所有人。稳定的体重及健康的体脂水平是最佳的膳食指导，因此需要在正确的时间内摄入适量的能量。运动员应确定适合自身的能量摄入水平。同时，还需了解本膳食计划中所列的水分摄入量可能远低于实际需要的摄入量。运动员应摄入足量的食物和水，在训练和比赛过程中可能还需要摄入更多的运动饮料。运动员应饮用足量饮料以保持最佳身体水分，其尿液呈清澈为佳。

摄入 2500 千卡素食者（Lacto-Ovo）能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
清晨加餐	全麦百吉饼 果酱 葡萄柚	1/2 个 2 茶匙 1/2 个	145 37 60 膳食能量：242	2 份淀粉类食物 1 份水果 1/2 份水果
上午训练	运动饮料（6%）	480 毫升	120 膳食能量：120	2 份水果
早餐	玉米片 全麦麦片 蓝莓 牛奶（1%）	3/4 杯 1/4 杯 1/2 杯 240 毫升	98 39 41 110 膳食能量：288	1 份淀粉类食物 1/2 份淀粉类食物 1/2 份水果 1 份乳制品
早午餐	杏仁 葡萄干 新鲜苹果，中等大小	6 个 4 汤匙 1 个	42 108 72 膳食能量：222	1 份脂肪类食物 2 份水果 1 份水果
午餐	墨西哥玉米煎饼 炸豆泥，无脂 米饭 车打乳酪碎 沙司 面粉薄饼（7~8 英寸） 胡萝卜丝沙拉 配柠檬汁 鲜葡萄	 1/2 杯 1/3 杯 4 汤匙 1/4 杯 1 个 1 杯 2 汤匙 10 颗	 110 68 100 20 159 50 8 55 膳食能量：570	 1 份精瘦肉蛋白类=1 份淀粉类 1 份淀粉类食物 1 份高脂蛋白类食物 1 份蔬菜 2 份淀粉类食物 2 份蔬菜 – 1 份水果
下午加餐	酸奶，软包装，脱脂 香草威化饼	1/2 杯 5 块	115 88 膳食能量：203	1 份乳制品 1 份淀粉类食物
傍晚训练	运动饮料（6%）	480 毫升	120 膳食能量：120	2 份水果
晚餐	水煮蛋 番茄块，罐装 橄榄油 烤土豆 酸奶油 煮菠菜 柠檬汁	2 个 1 杯 2 汤匙 1 个，中等大小 1 汤匙 1 杯 按口味添加	147 50 80 188 30 41 6 膳食能量：542	2 份中高脂蛋白类食物 2 份蔬菜 2 份脂肪类食物 2 份淀粉类食物 1 份脂肪类食物 2 份蔬菜 –
夜间加餐	白干酪（脂肪含量 4%） 果汁加桃肉果粒	3/4 杯 1/2 杯	120 60 膳食能量：180	3 份瘦肉蛋白类食物 1 份水果
总计	总能量：2487 碳水化合物（克）：444（69%） 蛋白质（克）：93（17%） 脂肪（克）：47（17%） 膳食纤维（克）：50	铁（毫克）：30 锌（毫克）：9 钙（毫克）：1672 钠（毫克）：4806 镁（毫克）：461 钾（毫克）：4413	VC（毫克）：203 VB_1（毫克）：1.47 VB_2（毫克）：2.53 烟酸（毫克）：14 VB_6（毫克）：2.8 VB_{12}（毫克）：5.8 叶酸（微克）：734	V A（国际单位）：38399 V D（国际单位）：160 V E（毫克）：10.8 V K（微克）：947

该 2000 千卡能量摄入的膳食计划适用于早晨和傍晚训练的运动员，如马拉松运动员。

（本膳食计划反映了一名女运动员进行大负荷训练的一天的能量需求，运动员 30 岁，体重 45 公斤，身高 1.60 米。）

摄入3000千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
清晨加餐	吐司（全麦） 果酱 苹果汁	1片 1茶匙 120毫升	69 17 55 膳食能量：141	1份淀粉类食物 1/4份水果 1份水果
上午训练	运动饮料（碳水化合物含量6%）	360毫升	90 膳食能量：90	1.5份水果
早餐	橙汁 草莓（新鲜） 熟鸡蛋 全麦麦片 牛奶（1%） 吐司（全麦） 人造黄油，松软 果酱	120毫升 1杯 1个 1.5杯 240毫升 1片 1茶匙 1茶匙	55 53 78 184 110 69 34 17 膳食能量：600	1份水果 1份水果 1份中脂蛋白类食物 2份淀粉类食物 1份乳制品 1份淀粉类食物 1份脂肪类食物 1/4份水果
早午餐	百吉饼（全麦） 人造黄油 果酱 咖啡或茶	1个中等大小 1茶匙 2茶匙 1杯	320 34 33 0 膳食能量：387	4份淀粉类食物 1份脂肪类食物 1/2份水果 随意
午餐	火鸡肉三明治 熟火鸡肉切片 面包（全麦） 蛋黄酱 生菜 番茄 土豆沙拉（熟） 苹果 酸梅什锦果汁	 120克 2片 2茶匙 1片 2厚片 1/3杯 1个中等大小 240毫升	 126 138 70 0 8 107 80 144 膳食能量：673	 4份精瘦肉蛋白类食物 2份淀粉类食物 2份脂肪类食物 – 1/3份蔬菜 1份淀粉类；1份脂肪类 1份水果 2.5份水果
下午加餐	运动饮料（碳水化合物含量6%）	360毫升	90 膳食能量：90	1.5份水果
傍晚训练	乳酪条 椒盐卷饼 葡萄	30克 30克 1杯	80 108 60 膳食能量：248	1份中脂蛋白类食物 1.3份淀粉类食物 1份水果
晚餐	鸡肉炒菜 熟鸡胸肉 花椰菜 红辣椒、胡萝卜、芹菜、豆芽 植物油 酱油 米饭 橘子 茶	 120克 1杯 各1/4杯 2茶匙 按口味添加 2/3杯，熟 1个，中等大小，新鲜 1杯	 170 44 59 80 137 62 0 0 膳食能量：552	 4份瘦肉蛋白类食物 2份蔬菜 2份蔬菜 2份脂肪类食物 随意替换 2份淀粉类食物 1份水果 随意
夜间加餐	牛奶（1%） 全麦饼干	240毫升 5块	110 75 膳食能量：185	1份乳制品 1份淀粉类食物
总计	总能量：2966 碳水化合物（克）：483（63%） 蛋白质（克）：139（18%） 脂肪（克）：64（19%） 膳食纤维（克）：44	铁（毫克）：56 锌（毫克）：37 钙（毫克）：1211 钠（毫克）：4934 镁（毫克）：393 钾（毫克）：3105	VC（毫克）：666 VB_1（毫克）：4.6 VB_2（毫克）：4.8 烟酸（毫克）：61 VB_6（毫克）：5.7 VB_{12}（毫克）：12.9 叶酸（微克）：1287	VA（国际单位）：15581 VD（国际单位）：320 VE（毫克）：61 VK（微克）：32

该3000千卡能量摄入的膳食计划适用于早晨和傍晚训练的运动员，如参加夏令营的高中赛跑运动员。（本膳食计划反映了一名女运动员进行大负荷训练的一天的能量需求，运动员16岁，体重57公斤，身高1.73米。）

摄入 4000 千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
早餐	橙汁	360 毫升	180	3 份水果
	哈密瓜（新鲜）	1/4 个，切块	115	2 份水果
	无糖麦片	2 杯	320	2.75 份淀粉类食物
	牛奶（1%）	1.5 杯	165	1.5 份乳制品
	吐司（全麦）	3 片	210	3 份淀粉类食物
	人造黄油	2 茶匙	70	2 份脂肪类食物
	果酱	1 茶匙	17	1/4 份水果
			膳食能量：1077	
早午餐	百吉饼（全麦）	1 个中等大小	320	4 份淀粉类食物
	人造黄油	1 茶匙	35	1 份脂肪类食物
	果酱	2 茶匙	35	1/2 份水果
	咖啡或茶	1 杯	0	随意替换
	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	540 毫升	135	3 份水果
			膳食能量：525	
午餐	汉堡			
	汉堡	90 克	215	3 份精瘦肉蛋白类食物
	汉堡面包	1 个	230	2 份淀粉类食物
	番茄酱	2 茶匙	10	2 份脂肪类食物
	生菜	1 片	0	–
	番茄	2 片	12	1/2 份蔬菜
	炸薯条	1/2 杯	290	2 份淀粉类食物；2 份脂肪类食物
	香蕉	1 个中等大小	100	1 份水果
	综合蔬菜汁	240 毫升	50	2.5 份水果
			膳食能量：907	
下午加餐	车打乳酪	30 克	115	1 份中脂蛋白类食物
	苏打饼干	6 小块	80	1 份淀粉类食物
	葡萄	1 杯	60	1 份水果
	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	540 毫升	135	3 份水果
			膳食能量：390	
傍晚训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	540 毫升	135	3 份水果
			膳食能量：135	
晚餐	烤三文鱼排	120 克	185	4 份精瘦肉蛋白类食物
	花椰菜	2 杯	90	4 份蔬菜
	人造黄油	2 茶匙	70	2 份脂肪类食物
	烤土豆	1 个中等大小	190	1 份淀粉类食物
	酸奶油	1 汤匙	30	1 份脂肪类食物
	什锦水果	1 杯，新鲜	120	1 份水果
			膳食能量：685	
夜间加餐	牛奶（1%）	1 杯	110	1 份乳制品
	爆米花	3 杯，微波	92	1 份淀粉类食物
			膳食能量：202	
总计	总能量：3921	铁（毫克）：23	VC（毫克）：345	VA（国际单位）：11749
	碳水化合物（克）：647（63.8%）	锌（毫克）：15	VB_1（毫克）：1.53	VD（国际单位）：635
	蛋白质（克）：145（14.3%）	钙（毫克）：1399	VB_2（毫克）：2.04	VE（毫克）：11
	脂肪（克）：99（21.9%）	钠（毫克）：4829	烟酸（毫克）：31.17	VK（微克）：461
	膳食纤维（克）：52.8	镁（毫克）：491	VB_6（毫克）：6.21	
		钾（毫克）：4689	VB_{12}（毫克）：5.58	
			叶酸（微克）：595	

该 4000 千卡能量摄入的膳食计划适用于仅在傍晚进行训练的运动员，如三项全能运动员。

（本膳食计划反映了一名男运动员进行大负荷训练的一天的能量需求，运动员 35 岁，体重 85 公斤，身高 1.88 米。）

18 力量耐力型运动项目

足球、篮球等集体项目和网球等个人项目要求运动员有较好的力量和耐力素质。力量耐力型运动项目不仅要求运动员保持良好的机能状态，而且对专项技术动作也有着非常高的要求。集体项目运动员营养需求较高，需要摄入足够的能量以承受长时间、大强度的训练，同时还要补充大量水以保持正常的身体水分。与其他运动项目不同，集体项目在训练和比赛中通常有中场休息时间，这一间歇时间应视为运动员补充碳水化合物和水分的绝佳时机。理想的营养补充方案应当是让运动员在平时的训练过程中了解自身在中场休息时可摄入的水分，从而确定在比赛过程中如何补充水分才能增强体能，而不会降低体能。运动员应了解人体对食物和营养摄入量有极大的适应性，因此循序渐进地进行水分摄入适应练习，最终可在摄入更多水分的同时不会引起任何肠胃不适。相关研究结果表明，在训练和比赛休息时饮用淡水的运动员错失了维持血量、出汗率及向工作肌群重新输送碳水化合物的有利时机。只有富含糖和电解质的饮料才能满足运动员比赛和训练中的营养需求，而淡水则可能产生相反的效果。力量耐力型运动项目通常在比赛过程中穿插休息时间或有中场休息。这些休息时间被认为是补充水分和碳水化合物的有利时机。

而其他食物的摄入，如能量棒，则只会对工作肌群产生负面影响，真正需要的是碳水化合物和水分。

富含维生素、矿物质和蛋白质的能量棒有其优势，但篮球比赛中场休息时运动员不宜进食此类食品。有时，运动员喜欢在中场休息时进食香蕉、饼干或面包，但应在比赛前经过较好的练习，以确保食物能够被有效吸收并在比赛重新开始前从胃部排空。

本章的膳食计划说明

本章包括 2000 千卡（素食者）、3000 千卡和 3500 千卡三种能量摄入的膳食计划。为帮助运动员了解如何将膳食计划与其训练计划完美结合，我们在这些膳食计划中使用了不同时间的训练计划。在附件中各膳食计划表的最右栏将看到一项“替代食物”列表。替代食物是可选择的能量及营养含量相似（并非完全相同）的食物。例如，若不喜欢午餐列表中烤牛肉三明治的烤牛肉，可从替代食物列表中找到喜欢的相似食物作为替代品。本章旨在为运动员提供膳食指导，然而这些饮食的能量水平并非完全适用于所有人。稳定的体重及健康的体脂水平是最佳的膳食指导，应在正确的时间内摄入适量的能量。运动员应确定适合其自身的能量摄入水平。同时，还需了解本膳食计划中所列的水分摄入量可能远低于实际需要的摄入量。运动员应补充足量的食物和水，同时在训练比赛的过程中可能还需要摄入更多的运动饮料。运动员应饮用足量饮料以保持最佳的身体水分，其尿液清澈为佳。

摄入 2000 千卡素食者（Lacto-Ovo）能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
清晨加餐	全麦英式松饼	1/2 个	67	1 份淀粉类食物
	橙汁	120 克	55	1 份水果
			膳食能量：122	
上午训练	运动饮料（6%）	480 毫升	120	2 份水果
			膳食能量：120	
早餐	全麦麦片	3/4 杯	119	1 份淀粉类食物
	牛奶（1%）	180 毫升	82	3/4 份淀粉类食物
	蓝莓	1/2 杯	41	1 份水果
			膳食能量：242	
早午餐	香蕉，小	1 个	42	1 份脂肪类食物
	新鲜大豆坚果	30 克	120	2 份精瘦肉蛋白类食物+1/2 份淀粉类食物
			膳食能量：210	
午餐	沙拉			
	鹰嘴豆	1/2 杯	110	1 份精瘦肉蛋白类食物+1 份淀粉类食物
	熟车打乳酪	30 克	114	1 份高脂蛋白类食物
	番茄块	1/2 杯	19	1/2 份蔬菜
	黄玉米	1/4 杯	33	1/2 份淀粉类食物
	生胡萝卜细丝	1/2 杯	23	1/2 份蔬菜
	罗马生菜块	2 杯	19	1 份蔬菜
	沙司	1/2 杯	40	2 份蔬菜
	烤皮塔饼，全麦	1/2	60	1 份淀粉类食物
	甜瓜块	1/2 杯	54	1 份水果
			膳食能量：472	
下午加餐	牛奶（1%）	240 毫升	110	1 份乳制品
	全麦饼干，2.5 英寸见方	3 块	89	1 份淀粉类食物
			膳食能量：199	
傍晚训练	运动饮料	480 毫升	120	2 份水果
			膳食能量：120	
晚餐	炒菜			
	老豆腐，切方块	1/2 杯	80	1 份中脂蛋白类食物
	花椰菜	1 杯	44	2 份蔬菜
	蘑菇，切片	1/2 杯	8	1 份蔬菜
	红色甜椒	1/2 杯	12	1 份蔬菜
	青葱，切段	2 汤匙	4	–
	花生油	2 茶匙	80	2 份脂肪类食物
	酱油	按口味添加	137	随意替换
	糙米饭	3/4 杯	163	2 份淀粉类食物
			膳食能量：528	
夜间加餐	苹果酱，无糖	1/2 杯	52	1 份水果
	白干酪（脂肪含量 1%）	1/2 杯	82	3 份精瘦肉蛋白类食物
			膳食能量：134	
总计	总能量：2027	铁（毫克）：19	VC（毫克）：431	VA（国际单位）：26123
	碳水化合物（克）：324（64%）	锌（毫克）：7	VB_1（毫克）：1.5	VD（国际单位）：205
	蛋白质（克）：335（18%）	钙（毫克）：1315	VB_2（毫克）：1.7	VE（毫克）：5.8
	脂肪（克）：43（18%）	钠（毫克）：3119	烟酸（毫克）：19	VK（微克）：149
	膳食纤维（克）：31	镁（毫克）：383	VB_6（毫克）：2.4	
		钾（毫克）：4087	VB_{12}（毫克）：2.9	
			叶酸（微克）：562	

该 2000 千卡能量摄入的膳食计划适用于早晨和傍晚训练的运动员，如参加夏令营的年轻网球运动员。（本膳食计划反映了一名女运动员进行较大负荷训练的一天的能量需求，运动员 11 岁，体重 32 公斤，身高 1.37 米。）

摄入 3000 千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
清晨加餐	吐司（全麦）	1 片	69	1 份淀粉类食物
	果酱	1 茶匙	17	1/4 份水果
	苹果汁	120 毫升	55	1 份水果
			膳食能量：141	
早餐	橙汁	240 毫升	55	1 份水果
	草莓（新鲜）	1 杯	53	1 份水果
	熟鸡蛋	1 个	78	1 份中脂蛋白类食物
	全麦麦片	1.5 杯	184	2 份淀粉类食物
	牛奶（1%）	240 毫升	110	1 份乳制品
	吐司（全麦）	1 片	69	1 份淀粉类食物
	人造黄油，松软	1 茶匙	34	1 份脂肪类食物
	果酱	1 茶匙	17	1/4 份水果
			膳食能量：600	
早午餐	百吉饼（全麦）	1 个中等大小	320	4 份淀粉类食物
	人造黄油	1 茶匙	34	1 份脂肪类食物
	果酱	2 茶匙	33	1/2 份水果
	咖啡或茶	1 杯	0	随意
			膳食能量：387	
午餐	火鸡肉三明治			
	熟火鸡肉切片	240 克	126	4 份精瘦肉蛋白类食物
	面包（全麦）	2 片	138	2 份淀粉类食物
	蛋黄酱	2 茶匙	70	2 份脂肪类食物
	生菜	1 片	0	–
	番茄	2 厚片	8	1/3 份蔬菜
	土豆沙拉（熟）	1/3 杯	107	1 份淀粉类或 1 份脂肪类食物
	苹果	1 个中等大小	80	1 份水果
	酸梅什锦果汁	240 毫升	144	2.5 份水果
			膳食能量：673	
下午训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	720 克约 700ml	180	3 份水果
			膳食能量：180	
下午加餐	乳酪条	30 克	80	1 份中脂蛋白类食物
	椒盐卷饼	30 克	108	1.3 份淀粉类食物
	葡萄	1 杯	60	1 份水果
			膳食能量：248	
晚餐	鸡肉炒菜			
	熟鸡胸肉	120 克	170	4 份瘦肉蛋白类食物
	花椰菜	1 杯	44	2 份蔬菜
	红辣椒、胡萝卜、芹菜、豆芽	各 1/4 杯	59	2 份蔬菜
	植物油	2 茶匙	80	2 份脂肪类食物
	酱油	按口味添加	137	随意替换
	米饭	2/3 杯，熟	62	2 份淀粉类食物
	橘子	1 个，中等大小，新鲜	0	1 份水果
	茶	1 杯	0	随意替换
			膳食能量：552	
夜间加餐	牛奶（1%）	240 毫升	110	1 份乳制品
	全麦饼干	5 块	75	1 份淀粉类食物
			膳食能量：185	
总计	总能量：2966	铁（毫克）：56	VC（毫克）：666	VA（国际单位）：15581
	碳水化合物（克）：483（63%）	锌（毫克）：37	VB_1（毫克）：4.6	VD（国际单位）：320
	蛋白质（克）：139（18%）	钙（毫克）：1211	VB_2（毫克）：4.8	VE（毫克）：61
	脂肪（克）：64（19%）	钠（毫克）：4934	烟酸（毫克）：61	VK（微克）：32
	膳食纤维（克）：44	镁（毫克）：393	VB_6（毫克）：5.7	
		钾（毫克）：3105	VB_{12}（毫克）：12.9	
			叶酸（微克）：1287	

该 3000 千卡能量摄入的膳食计划适用于仅在傍晚进行训练的运动员，如高中足球运动员。
（本膳食计划反映了一名女运动员进行大负荷训练的一天的能量需求，运动员 16 岁，体重 56 公斤，身高 1.73 米。）

摄入 3500 千卡能量的膳食计划

进餐时间 / 项目	食物	数量	能量（千卡）	替代食物
训练前加餐	吐司	1 片	70	1 份淀粉类食物
	苹果汁	1/2 杯	55	1 份水果
			膳食能量：125	
上午训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	480 毫升	120	2 份水果
			膳食能量：120	
早餐	全麦麦片	1.5 杯	175	2 份淀粉类食物
	牛奶（1%）	1.5 杯	165	1.5 份乳制品
	草莓	1 杯	49	10 份水果
	餐包（全麦）	1 个（小）	75	1 份淀粉类食物
	橙汁	1.5 杯	165	3 份水果
	人造黄油	1 茶匙	35	1 份脂肪类食物
	果酱	1 茶匙	19	1/2 份水果
			膳食能量：683	
早午餐	原味百吉饼	1/2 个（中等大小）	160	2 份淀粉类食物
	奶油乳酪	1 汤匙	50	1 份脂肪类食物
	苹果汁	240 毫升	110	2 份水果
			膳食能量：320	
午餐	烤牛肉三明治			
	烤牛肉片（瘦）	4 片（共 60 克）	100	2 份中脂蛋白类食物
	全麦面包	2 片	138	2 份淀粉类食物
	蛋黄酱	1.5 茶匙	52	1.5 份脂肪类食物
	生菜	1 片	0	随意替换
	土豆沙拉	1 杯	325	3 份淀粉类食物；3 份脂肪类食物
	酸梅汁	1 杯	144	2.5 份水果
	桃	1 个中等大小（新鲜）	40	1 份水果
			膳食能量：799	
下午加餐	苏打饼干	10 块	130	1.5 份淀粉类食物
	苹果	1 个中等大小	72	1 份水果
			膳食能量：202	
傍晚训练	运动饮料（碳水化合物含量 6%）	480 毫升	120	2 份水果
			膳食能量：120	
晚餐	鸡肉炒面	2 杯	365	3 份淀粉类食物；3 份瘦肉蛋白类食物；1 份脂肪类食物
	白米饭	2 杯	411	4 份淀粉类食物
	橘子	1 个，新鲜	62	1 份水果
	茶	1 杯	0	随意替换
	糖（加入茶中）	1 茶匙	23	1/3 份水果
			膳食能量：861	
夜间加餐	牛奶（1%）	1 杯	110	1 份乳制品
	巧克力脆皮全麦饼干	5 块	339	1 份淀粉类食物
			膳食能量：449	
总计	总能量：3679	铁（毫克）：23	VC（毫克）：446	VA（国际单位）：3072
	碳水化合物（克）：604（67.2%）	锌（毫克）：6.2	VB_1（毫克）：1.99	VD（国际单位）：270
	蛋白质（克）：107（11.9%）	钙（毫克）：1,278	VB_2（毫克）：1.1	VE（毫克）：2.38
	脂肪（克）：83（20.9%）	钠（毫克）：7,066	烟酸（毫克）：15.59	VK（微克）：12.98
	膳食纤维（克）：53	镁（毫克）：324	VB_6（毫克）：1.48	
		钾（毫克）：2902	VB_{12}（毫克）：0.41	
			叶酸（微克）：552	

该 3500 千卡能量摄入的膳食计划适用于早晨和傍晚训练的运动员，如曲棍球运动员。

（本膳食计划反映了一名进行大负荷训练的男运动员一天的能量需求，运动员 25 岁，体重 77 公斤，身高 1.79 米。）

附录 食品交换表

奶制品（每份脱脂奶或特低脂奶制品大概 110 千卡）	
每份大小	食物
1 杯（240 毫升）	牛奶（脱脂或 1%脂肪）
1/2 杯	酸奶（加糖原味、脱脂或低脂）
1 杯	酸奶（人工加糖、脱脂或低脂）

特制精蛋白质类（每份大概 35 千卡，1 克脂肪）	
每份大小	食物
1/2 杯	烹制豆类（黑豆、莱豆、鹰嘴豆、小扁豆）；还含有相当于 1 份淀粉的碳水化合物；例如：1/2 杯小扁豆=1 份完全精蛋白质+1 份淀粉
30 克	罐装金枪鱼（水中包装）
30 克	奶酪（脱脂）
1/4 杯	松软奶酪（脱脂或 1%脂）
2 个	鸡蛋白
30 克	鱼片（烘制、烤制或者煮制比目鱼、鲽目鱼、小鳕鱼、鳕鱼等）
30 克	贝类（蛤蜊、龙虾、扇贝；蒸制、煮制或烘制虾）
30 克	切片火鸡胸或鸡胸

精蛋白质类（每份大概 55 千卡，脂肪高达 3 克）	
每份大小	食物
30 克	奶酪（低脂——每 10 克含 1 克或更少脂肪）
30 克	鸡肉或火鸡肉，白肉（无皮）
1/4 杯	松软奶酪（4%脂肪）
30 克	鱼（大马哈鱼、箭鱼或鲱鱼）
30 克	羊羔肉（烤制或精益剁碎）
30 克	精益牛肉［肋肉、绞细牛肉（5%）、伦敦杂扒、嫩腰肉、烤牛肉］
30 克	午餐肉（低脂）
2 汤匙	巴马奶酪粉
30 克	猪肉（嫩腰肉或鲜火腿）
2 中份	沙丁鱼
30 克	小牛肉（烤制或精益剁碎）

中脂蛋白质类（每份大概 75 千卡，5 克脂肪）	
每份大小	食物
30 克	牛肉［任何上等、咸牛肉、绞细牛肉（10%）］
30 克	奶酪（白奶酪或其他每 30 克含脂肪≤5 克的奶酪）
30 克	鸡肉或火鸡肉，禽类腿部的肉（无皮）
1 个鸡蛋	鸡蛋（煮制、荷包蛋或无油炒蛋）
30 克	猪排
1/4 杯（60 毫升）	瑞可塔乳酪（Ricotta Cheese）
120 克	豆腐

高脂蛋白质类（每份大概 100 千卡，8 克脂肪）	
每份大小	食物
3 片	熏肉（每片 25 克）
30 克	奶酪（普通奶酪：美国奶酪、英国切德奶酪、蒙特里杰克干酪或瑞士奶酪）
30 克	猪肉（排骨、猪肉沫、猪肉香肠）
30 克	调制的三明治肉（博洛尼亚腊肠、萨拉米香肠或者其他每 30 克含脂肪≤8 克的香肠）
30 克	香肠或热狗
	按 1 份高脂蛋白质加 1 份脂肪交换食堂物计算
2 汤匙	花生黄油

水果类（每份大概 60 千卡，15 克碳水化合物）	
每份大小	食物
3~4 个	杏干或洋李干
1/2 根	香蕉
1 杯	浆果
1/2 杯	罐装水果（未加糖）
1.5 个	干无花果
1 中份	新鲜水果（自己选择）
120 毫升	水果汁（未加糖）
1/2 个	柚子
1/8 个	蜜瓜
4 汤匙	果冻或果酱
1 杯	（各种）瓜
2 汤匙	葡萄干或干蔓越橘
240 毫升	运动饮料（6%的碳水化合物溶液）

蔬菜类（每份大概 25 千卡，5 克碳水化合物）	
每份大小	食物
1/2 杯	烹熟的蔬菜（无脂肪烹制：煮制或蒸制）
1 杯	生蔬菜或色拉用绿叶蔬菜
1/4 杯	调味汁
1/2 杯	蔬菜汁

淀粉类（每份 80 千卡，15 克碳水化合物）	
每份大小	食物
1/4 块	百吉饼
1/2 杯	大麦或燕粗麦粉食品（煮熟的）
1/2 杯	麦麸麦片
1 片	面包
1/2 杯	小麦片（Bulgar）
3/4 杯	麦片粥（片状粉）
1/2 杯	热麦片粥（燕麦片、粗粒等）
1.5 杯	膨化麦片粥
1/2 杯	玉米、甘薯或绿豌豆
1/2 块	英式小松糕
3 块	全麦饼干（16 平方厘米）
1/4 杯	葡萄籽、低脂格兰诺拉麦片
1/2 个	汉堡面包
1/3 杯	豆类（干豆荚、豌豆或熟制的小扁豆）
1/4 杯	牛奶什锦早餐
1/2 杯	熟制意大利面制品
3 杯	爆米花 [微波烹制（80%低盐）或气热式]
1 小份	土豆（烤制）
20 克	椒盐脆饼干
1/3 杯	熟制大米
2 块	米粉糕（10 厘米）
6 块	咸饼干
1 杯	笋瓜（橡树果、灰胡桃果）
1/2	玉米粉（直径 15 厘米）或小麦粉（直径 18~20 厘米）圆饼
5 块	香草饼干

脂肪类（每份 45 千卡，5 克脂肪）	
每份大小	食物
6 个	杏仁、腰果
1/8	鳄梨
1 片	咸肉
8 大份	乌榄
1 茶匙	黄油或人造黄油
1 汤匙	奶油干酪
1 汤匙	粉状亚麻籽
2 汤匙	低盐奶油干酪
1 茶匙	蛋黄酱
1 茶匙	蔬菜油
6 大份	黑橄榄
6 个	花生
1 汤匙	降脂人造黄油或蛋黄酱
1 汤匙	色拉味调料
10 大份	酿青榄
4 个	胡桃、山核桃

参考文献

Chapter 1

1 Hultman E and Nilsson LH. Liver glycogen in man: Effects of different diets and muscular exercise. *Muscle metabolism during intense exercise* (Ed. Pernow B and Saltin B). London: Plenum Press. 1971: pp. 143-151.

2 Hultman E and Greenhaff PL. Carbohydrate metabolism in exercise. *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: pp. 90-91.

3 Pate TD and Brunn JC. Fundamentals of carbohydrate metabolism. *Nutrition in exercise and sport* (Ed. Hickson JF and Wolinsky I). Boca Raton, FL: CRC Press. 1989: pp. 37-49.

4 Karlsson J and Saltin B. Diet, muscle glycogen, and endurance. *Journal of Applied Physiology* 1971; 31(2): 203-206.

5 Sahlin K, Katz A, and Broberg S. Tricarboxylic cycle intermediates in human muscle during submaximal exercise. *American Journal of Physiology* 1990; 259: C834-C841.

6 Fitts RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews* 1994; 74: 49-94.

7 The branched-chain amino acids are leucine, isoleucine, and valine.

8 Newsholme EA and Castell LM. Amino acids, fatigue and immunodepression in exercise. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: pp. 156-158.

9 Davis JM, Alderson NL, and Welsh RS. Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 72(2) Suppl: 573S-8S.

10 Davis JM, Zhao Z, Stock HS, Mehl KA, Buggy J & Hand GA. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 2003; 284(2): R399-404.

11 Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. Food and Nutrition Board. Washington, DC: National Academies Press. 2002.

12 Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine. Nutrition and athletic performance. *Journal of the American Dietetic Association* 2000; 100: 1543-1556.

13 USDA/HHS. Nutrition and your health: Dietary guidelines for Americans. Home and Garden Bulletin no. 232. Washington DC: Government Printing Office. 2000.

14 Costill DL, Sherman WM, Fink WJ, Maresh C, Witten M, and Miller JM. The role of dietary carbohydrate in muscle glycogen synthesis after strenuous running. *American Journal of Clinical Nutrition* 1981; 34: 1831-1836.

15 Sherman WM. Metabolism of sugars and physical performance. *American Journal of Clinical Nutrition* 1995; 62(suppl.): S228-S241.

16 Burke LM, Kiens B, and Ivy JL. Carbohydrate and fat for training and recovery. *Journal of Sports Sciences* 2004; 22: 15-30.

17 Coutts A, Reaburn P, Mummery K, & Holmes M. The effect of glycerol hyperhydration on Olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2002; 12(1): 105-19.

18 Magal, M, Webster MJ, Sistrunk LE, Whitehead MT, Evans RK, & Boyd JC. Comparison of glycerol and water hydration regimens on tennis-related performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2003; 35(1): 150-6.

19 The typical energy cost of walking or running 1 mile (1.6 km) is approximately 100 calories.

20 Coyle EF. Fat metabolism during exercise. *Sports Science Exchange* (59) 1995; 8(6).

21 Kiens B and Helge JW. Adaptations to a high fat diet. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: pp. 192-202.

22 Bach AS & Babayan VK. Medium-chain triglycerides: An update. *American Journal of Clinical Nutrition* 1982; 36(5): 950-62.

23 Seaton TB, Welle SL, Warenko MK, & Campbell RG. Thermic effect of medium-chain and long-chain triglycerides in man. *American Journal of Clinical Nutrition* 1986; 44(5): 630-4.

24 Geliebter A, Torbay N, Bracco EF, Hashim SA, & Van Itallie TB. Overfeeding with medium-chain triglyceride diet results in diminished deposition of fat. *American Journal of Clinical Nutrition* 1983; 37(1): 1-4.

25 Scalfi L, Coltorti A, & Contaldo F. Postprandial thermogenesis in lean and obese subjects after meals supplemented with medium-chain and long-chain triglycerides. *American Journal of Clinical Nutrition* 1991; 53(5): 1130-3.

26 Angus DJ, Hargreaves M, Dancey J, and Febbraio MA. Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *Journal of Applied Physiology* 2000; 88(1): 113-119.

27 Lambert EV, Goedecke JH, Zyle C, Murphy K, Hawley JA, Dennis SC, and Noakes TD. High-fat diet versus habitual diet prior to carbohydrate loading: Effects of exercise metabolism and cycling performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2001; 11(2): 209-225.

28 Misell LM, Lagomarcino ND, Schuster V, and Kern M. Chronic medium-chain triacylglycerol consumption and endurance performance in trained runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2001; 41(2): 210-215.

29 Kern M, Lagomarcino ND, Misell LM, and Schuster V. The effect of medium-chain triacylglycerols on the blood lipid profile of male endurance runners. *Journal of Nutritional Biochemistry* 2000; 11(5): 288-292.

30 Kasai M, Nosaka N, Maki H, Suzuki Y, Takeuchi H, Aoyama T, Ohra A, Harada Y, Okazaki M, and Kondo K. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 2002; 48(6): 536-240.

31 St-Onge MP, Ross R, Parsons WD, and Jones PJ. Medium-chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men. *Obesity Research* 2003; 11(3): 395-402.

32 Jukendrup AE, Saris WHM, Schrauwen P, Brouns F, and Wagermakers AJM. Metabolic availability of medium-chain triglycerides coingested with carbohydrate during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology* 1995; 79: 756-762.

33 Bucci L. "Nutrients as Ergogenic Aids for Sports and Exercise." Boca Raton, FL: CRC Press, © 1993, pg 20.

34 Brilla LF & Landerholm TE. Effect of fish oil supplementation and exercise on serum lipids and aerobic fitness. *Journal of Sports Medicine* 1990; 30(2): 173.

35 Huffman DM, Altena TS, Mawhinney TP, & Thomas TR. Effect on n-3 fatty acids on free tryptophan and exercise fatigue. *European Journal of Applied Physiology* 2004; 92(4-5): 584-91.

36 Lenn J, Uhl T, Mattacola C, Boissonneault G, Yates J, Ibrahim W, & Bruckner G. The effects of fish oil and isoflavones on

delayed onset muscle soreness. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2002; 34(10): 1605-13.

37 Meredith CN, Zackin MJ, Frontera WR, & Evans WJ. Dietary protein requirements and body protein metabolism in endurance-trained men. *Journal of Applied Physiology* 1989; 66(6): 2850-2856.

38 Butterfield GE & Calloway DH. Physical activity improves protein utilization in young men. *British Journal of Nutrition* 1984; 51: 171-184.

39 Butterfield G, Cady C & Moynihan S. Effect of increasing protein intake on nitrogen balance in recreational weight lifters. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1992; 24: S71.

40 Amphoteric substances can behave as either an acid or a base, with the capacity to donate or take up hydrogen atoms to control wide shifts in pH.

41 USDA/HHS. Dietary guidelines for Americans, 2005. Washington, DC: Government Printing Office. 2005.

42 Tarnopolsky MA, MacDougall JD, and Atkinson SA. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *Journal of Applied Physiology* 1988; 64(1): 187-193.

43 Steen SN. Precontest strategies of a male bodybuilder. *International Journal of Sport Nutrition* 1991; 1: 69-78.

44 Kleiner SM, Bazzarre TL, and Ainsworth BE. Nutritional status of nationally ranked elite body-builders. *International Journal of Sport Nutrition* 1994; 4: 43-69.

45 Gibala M. Regulation of skeletal muscle amino acid metabolism during exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2001; 11: 87-108.

46 Gibala MJ. Dietary protein, amino acid supplements, and recovery from exercise. *GSSI Sports Science Exchange* 2002; 15(4): 1-4.

47 Gibala MJ. Dietary protein, amino acid supplements, and recovery from exercise. *GSSI Sports Science Exchange* 2002; 15(4).

48 Gibala MJ. Dietary protein, amino acid supplements, and recovery from exercise. *GSSI Sports Science Exchange* 2002; 15(4).

49 Zawadzki KM, Yaspelkis BB, and Ivy JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *Journal of Applied Physiology* 1992; 72(5): 1854-1859.

Chapter 2

1 Institute of Medicine. "Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B_6, Folate, Vitamin B_{12}, Pantothenic Acid, Protein, and Choline." Food and Nutrition Board. Washington DC: National Academies Press. 1999. pp 150-195.

2 Belko, A.Z., Obarzanek, E., Kalkwarf, J.H., Rotter, M.A., Bogusz, S., Miller, D., Haas, J.D., and Roe, D.A. 1983. Effects of exercise on riboflavin requirements of young women. *Am. J. Clin. Nutr.* 37: 509-517.

3 Belko, A.Z., Obarzanek, M.P., Rotter, B.S., Urgan, G., Weinberg, S., and Roe, D.A. 1984. Effects of aerobic exercise and weight loss on riboflavin requirements of moderately obese, marginally deficient young women. *Am. J. Clin. Nutr.* 40: 553.

4 Belko, A.Z., Meredith, M.P., Kalkwarf, H.J., Obarzanek, E., Weinberg, S., Roach, R., McKeon, G., and Roe, D.A. 1985. Effects of exercise on riboflavin requirements: Biological validation in weight-reducing young women. *Am. J. Clin. Nutr.* 41: 270.

5 Tremblay, A., Boiland, F., Breton, M., Bessette, H., and Roberge, A.G. 1984. The effects of a riboflavin supplementation on the nutritional status and performance of elite swimmers. *Nutr. Res.* 4: 201.

6 Manore M and Thompson J. "Sports Nutrition for Health and Performance." Champaign IL: Human Kinetics, © 2000, pg 252.

7 Carlson, L.A., Havel, R.J., Ekelund, L.G., and Holmgren, A. 1963. Effect of nicotinic acid on the turnover rate and oxidation of the free fatty acids of plasma in man during exercise. *Metab. Clin. Exp.* 12: 837.

8 Bergstrom, J., Hultman, E., Jorfeldt, L., Pernow, B., and Wahnen, J. 1969. Effect of nicotinic acid on physical working capacity and on metabolism of muscle. *J. Appl. Physiol.* 26: 170.

9 Hilsendager, D., and Karpovich, P.V. 1964. Ergogenic effect of glycine and niacin separately and in combination. *Res. Q.* 35: 389.

10 Dalton, K., and Dalton, M.J.T. 1987. Characteristics of pyridoxine overdose neuropathy syndrome. *Acta. Neurol. Scand.* 76: 8-11.

11 Schaumberg, H., Kaplan, J., Windebank, A., Vick, N., Ragmus, S., Pleasure, D., and Brown, M.J. 1983. Sensory neuropathy from pyridoxine abuse. *New Engl. J. Med.* 309: 445-448.

12 Manore, M.M. 1994. Vitamin B-6 and exercise. *Int. J. Sport Nutr.* 4: 89-103.

13 Fogelholm, M., Ruokonen I., Laakso, J.T., Vuorimaa, T., and Himberg, J.J. 1993. Lack of association between indices of vitamin B-1, B-2, and B-6 status and exercise-induced blood lactate in young adults. *Int. J. Sport Nutr.* 3: 165-176.

14 Guilland, J.C., Penarand, T., Gallet, C., Boggio, V., Fuchs, F., and Klepping, J. 1989. Vitamin status of young athletes including the effects of supplementation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21: 441-449.

15 Telford, R.D., Catchpole, E.A., Deakin, V., McLeay, A.C., and Plank, A.W. 1992. The effect of 7 to 8 months of vitamin/mineral supplementation on the vitamin and mineral status of athletes. *Int. J. Sport Nutr.* 2: 123-134.

16 Suboticanec, K., Stavljenic, A., Schalch, W., and Buzina, R. 1990. Effects of pyridoxine and riboflavin supplementation of physical fitness in young adolescents. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 60: 81-88.

17 Delitala, G., Masala, A., Alagna, S., and Devilla, L. 1976. Effect of pyridoxine on human hypophyseal trophic hormone release: A possible stimulation of hypothalamic dopaminergic pathway. *J. Clin. Endocr. Metab.* 42: 603-606.

18 Dunton, N., Virk, R., Young, J., Leklem, J. 1992. Effect of vitamin B-6 supplementation and exhaustive exercise on vitamin B-6 metabolism and growth hormone. [Abstract]. *FASEB Journal* 6: A1374.

19 Moretti, C., Fabbri, A., Gnessi, L., Bonifacio, V., Fraioli, F., and Isidori, A. 1982. Pyridoxine (B_6) suppresses the rise in prolactin and increases the rise in growth hormone induced by exercise. *New Engl. J. Med.* 307 (7): 444-445.

20 Manore, M.M. 1994. Vitamin B-6 and exercise. *Int. J. Sport Nutr.* 4: 89-103.

21 Dreon, D.M., and Butterfield, G.E. 1986. Vitamin B-6 utilization in active and inactive young men. *Am. J. Clin. Nutr.* 43: 816-824.

22 Rokitzki, L., Sagredos, A.N., F., BŸchner, M., and Keul, J. 1994. Acute changes in vitamin B-6 status in endurance athletes before and after a marathon. *Int. J. Sport Nutr.* 4: 154-165.

23 Albert, M.J., Mathan, V.I., and Baker, S.J. 1980. Vitamin B-12 synthesis by human small intestinal bacteria. *Nature* 283: 781-782.

24 Ryan, A. 1977. Nutritional practices in athletics abroad. Physician Sports Med. 5: 33.

25 U.S. Senate. 1973. Proper and improper use of drugs by athletes. June 18 and July 12-13. Hearing Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

26 Montoye, H.J., Spata, P.J., Pincney, V., and Barron, L. 1955. Effects of vitamin B-12 supplementation on physical fitness and growth of young boys. *J. Appl. Physiol.* 7: 589.

27 Tin-May Than Ma-Win-May, Khin-Sann-Aung, and Mya-Tu, M. 1978. The effect of vitamin B-12 on physical performance capacity. *Br. J. Nutr.* 40: 269.

28 Read, M., and McGuffin, S. 1983. The effect of B-complex supplementation on endurance performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 23: 178.

29 McNulty, H. 1995. Folate requirements for health in different population groups. *Br. J. Biomed. Sci.* 52: 110-112.

30 Baily, L.B. 1995. Folate requirements and dietary recommendations. *Folate in health and disease*, ed. Baily, L.B. New York: Marcel Dekker, 123.

31 Matter, M., Stittfall, T., Graves, J., Myburgh, K., Adams, B., Jacobs, P., and Noakes, T.D. 1987. The effect of iron and folate therapy on maximal exercise performance in female marathon runners with iron and folate deficiency. *Clin. Sci.* 72Z: 415-420.

32 Weight, L.M., Noakes, T.D., Labadarios, D., Graves, J., Jacobs, P., and Berman, P.A. 1988. Vitamin and mineral status of trained athletes including the effects of supplementation. *Am. J. Clin. Nutr.* 47: 186-192.

33 Institute of Medicine. "Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids." Food and Nutrition Board. Washington DC: National Academies Press. 2000.

34 Hickson, J.F., and Wolinsky, I., eds. 1989. *Nutrition in exercise and sport*. Boca Raton, FL: CRC Press, 121.

35 Bramich, K., and McNaughton, L. 1987. The effects of two levels of ascorbic acid on muscular endurance, muscular strength, and on VO_2max. *Int. Clin. Nutr. Rev.* 7: 5.

36 Schwartz, P.L. 1970. Ascorbic acid in wound healing: A review. *J. Am. Diet. Assoc.* 56: 497.

37 Kanter, M.M. 1994. Free radicals, exercise, and antioxidant supplementation. *Int. J. Sport Nutr.* 4: 205-220.

38 Herbert, V. 1993. Does mega-C do more good than harm, or more harm than good? *Nutr. Today* Jan/Feb: 28-32.

39 Peake JM. Vitamin C: Effects of exercise and requirements with training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; 13: 125-151.

40 Institute of Medicine. "Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc." Food and Nutrition Board. Washington DC: National Academies Press. 2002.

41 Institute of Medicine. "Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride." Food and Nutrition Board. Washington DC: National Academies Press. 2000.

42 Murray, R., and Horsun II, C.A. 1998. Nutrient requirements for competitive sports. In *Nutrition in Exercise and Sport*, 3rd ed., ed. Ira Wolinsky. Boca Raton, FL: CRC Press, 550.

43 Barr, S.I., Prior, J.C., and Vigna, Y.M. 1994. Restrained eating and ovulatory disturbances: Possible implications for bone health. *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 92-97.

44 Chesnut, C.H. 1991. Theoretical overview: Bone development, peak bone mass, bone loss, and fracture risk. *Am. J. Medicine* 91(Suppl 5B): 2-4.

45 Heaney, R.P. 1991. Effect of calcium on skeletal development, bone loss, and risk of fractures. *Am. J. Medicine* 91(Suppl 5B): 23-28.

46 Benardot, D. 1997. Unpublished data from USOC research project on national team gymnasts. Laboratory for Elite Athlete Performance.

47 The symbol for beta-tocopherol that you will often see on labels is β, as in β-tocopherol.

48 The symbol for alpha-tocopherol that you will often see on labels is α, as in α-tocopherol.

49 Talbot, D., and Jamieson, J. 1977. An examination of the effect of vitamin E on the performance of highly trained swimmers. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 2: 67.

50 Bunnell, R.H., DeRitter, E., and Rubin, S.H. 1975. Effect of feeding polyunsaturated fatty acids with a low vitamin E diet on blood levels of tocopherol in men performing hard physical labor. *Am. J. Clin. Nutr.* 28: 706.

51 Sharman, I.M., Down, M.G., and Sen, R.N. 1971. The effect of vitamin E and training on physiological function and athletic performance in adolescent swimmers. *Br. J. Nutr.* 26: 265.

52 Sharman, I.M., Down, M.B., and Norgan, N.G. 1976. The effects of vitamin E on physiological function and athletic performance of trained swimmers. *J. Sports Med.* 16: 215.

53 Brady, P.S., Brady, L.J., and Ullrey, D.E. 1979. Selenium, vitamin E, and the response to swimming stress in the rat. *J. Nutr.* 109: 1103.

54 Dillard, C.J., Liton, R.E., Savin, W.M., Dumelin, E.E., and Tappel, A.L. 1978. Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. *J. Appl. Physiol.* 45: 927.

55 Shephard, R.J., Campbell, R., Pimm, P., Stuart, D., and Wright, G.R. 1974. Vitamin E, exercise, and the recovery from physical activity. *J. Appl. Physiol.* 33: 119-126.

56 Weber P. Vitamin K and bone health. *Nutrition* 2001; 17: 880-887

57 Feskanich D, Weber P, Willett WC, Rockett H, Booth SL, and Colditz GA. Vitamin K intake and hip fractures in women: A prospective study. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999; 69: 74-79

58 Booth SL, Tucker KL, Chen H, et al. Dietary vitamin K intakes are associated with hip fracture but not with bone mineral density in elderly men and women. *American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 71: 1201-1208

59 Booth SL, Pennington JA, and Sadowski JA. Food sources and dietary intakes of vitamin K-1 (phylloquinone) in the American diet: Data from the FDA Total Diet Study. *Journal of the American Dietetic Association* 1996; 96: 149-154

60 Lukaski, H.C. 1995. Micronutrients (magnesium, zinc, and copper): Are mineral supplements needed for athletes? *Int. J. Sport Nutr.* 5: S74-S83.

61 Benardot, D. 1999. Nutrition for gymnasts. *The Athlete Wellness Book*, ed. Marshall, N.T. Indianapolis, IN: USA Gymnastics, 12-13.

62 Lotz, M., Zisman, E., and Bartter, F.C. 1968. Evidence for a phosphorus-depletion syndrome in man. *New Engl. J. Med.* 278: 409-415.

63 National Research Council. 1989. *Recommended Dietary Allowances*, 10th ed. Washington, DC: National Academy of Sciences.

64 Bucci, L. 1993. *Nutrients as ergogenic aids for sports and exercise*. Boca Raton, FL: CRC Press.

65 Keller, W.D., and Kraut, H.A. 1959. Work and nutrition. *World Rev. Nutr. Diet* 3: 65.

66 Cade, R., Conte, M., Zauner, C., Mars, D., Peterson, J., Lunne, D., Hommen, N., and Packer, D. 1984. Effects of phosphate loading on 2,3-diphosphoglycerate and maximal oxygen uptake. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12: 263.

67 Duffy, D.J., and Conlee, R.K. 1986. Effects of phosphate loading on leg power and high intensity treadmill exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 674.

68 Shils, M.E. Magnesium. 1993. *Modern nutrition in health and disease*, 8th ed., ed. Shils, M.E., Olson, J.A., and Shike, M., Philadelphia: Lea & Febiger, 164-184.

69 Steinacker, J.M., Grunert-Fuchs, M., Steininger, K., and Wodick, R.E. 1987. Effects of long-time administration of magnesium on physical capacity. *Int. J. Sports Med.* 8: 151.

70 Golf, S.W., Bohmer, D., and Nowacki, P.E. 1993. Is magnesium a limiting factor in competitive exercise? A summary of relevant scientific data. In *Magnesium*, ed. Golf, S., Dralle, D., and Vecchiet, L., 209-220. London: John Libbey.

71 Brilla, L.R., and Haley, T.F. 1992. Effect of magnesium supplementation on strength training in humans. *J. Am. Coll. Nutr.* 11: 326-329.

72 Terblanche S, Noakes TD, Dennis SC, Marais D, and Eckert M. Failure of magnesium supplementation to influence marathon running performance or recovery. *International Journal of Sport Nutrition* 1992; 2(2): 154-164.

73 Hickson, J.F., Schrader, J., and Trischler, L.C. 1986. Dietary intake of female basketall and gymnastics athletes. *J. Am. Diet. Assoc.* 86: 251-254.

74 Lukaski, H.C. 1995. Prevention and treatment of magnesium deficiency in athletes. In *Magnesium and physical activity*, ed. Vecchiet, L., 211-226. Carnforth, UK: Parthenon.

75 Table salt is 40 percent sodium and 60 percent chloride. To obtain 1.5 grams of sodium, an individual would require an intake of approximately 3.8 grams of table salt.

76 Institute of Medicine. *Dietary Reference Intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate*. Washington, DC: National Academies Press. 2004: p. 6.

77 Pivarnik, J.M. Water and electrolytes during exercise 1989. In *Nutrition in exercise and sport*, ed. Hickson, J.F., and Wolinsky, I. Boca Raton, FL: CRC Press, 185-200.

78 Craig, S. "Hyponatremia." eMedicine, January 20, 2005. http: //www.emedicine.com/EMERG/topic275.htm/.

79 Pivarnik, J.M. 1989. Water and electrolytes during exercise. In *Nutrition in exercise and sport*, ed. Hickson J.F., and Wolinsky, I. Boca Raton: CRC Press. 185-200.87 Clarkson, P. 1991. Vitamins, iron, and trace minerals. In *Ergogenics: Enhancement of performance in exercise and sport*, ed. Lamb, D., and Williams, M. Indianapolis: Benchmark Press.

80 Clarkson, P. 1991. Vitamins, iron, and trace minerals. In *Ergogenics Enhancement of performance in exercise and sport*, ed. Lamb, D., and Williams, M. Indianapolis: Benchmark Press.

81 Shaskey DJ and Green GA. Sports haematology. *Sports Medicine* 2000; 29(1): 27-38.

82 Selby GB and Eichner ER. Endurance swimming, intravascular hemolysis, anemia, and iron depletion. *American Journal of Medicine* 1986; 81: 791-794.

83 Waller M and Haymes E. The effects of heat and exercise on sweat iron loss. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1996; 28: 197-203.

84 Brune M, Magnusson B, Persson H, and Hallberg L. Iron losses in sweat. *American Journal of Clinical Nutrition* 1986; 43: 438-443.

85 Baska RS, Moses FM, Graeber G, and Kearney G. Gastrointestinal bleeding during an ultramarathon. *Digestive Diseases and Sciences* 1990; 35: 276-279.

86 Balaban EP. Sports anemia. *Clinical Sports Medicine* 1992; 11(2): 313-325.

87 Gleeson M, Nieman DC, and Pedersen BK. Exercise, nutrition and immune function. *Journal of Sports Sciences* 2004; 22(1): 115-125.

88 Cook JD, Finch CA, and Smith NJ. Evaluation of the iron status of a population. *Blood* 1976; 48: 449-455.

89 Wolinsky, I., and Driskell, J.A. 1997. *Sports nutrition: Vitamins and trace elements*. Boca Raton, FL: CRC Press, 148.

90 Lampe JW, Slavin JL, and Apple FS. Iron status of active women and the effect of running a marathon on bowel function and gastrointestinal blood loss. *International Journal of Sports Medicine* 1991; 12: 173-179.

91 Haymes EM and Spillman DM. Iron status of women distance runners, sprinters, and control women. *International Journal of Sports Medicine* 1989; 10: 430-433.

92 Bucci, L. 1993. *Nutrients as ergogenic aids for sports and exercise*. Boca Raton, FL: CRC Press.

93 Stephenson, L.S. 1995. Possible new developments in community control of iron-deficiency anemia. *Nutrition Reviews* 53(2): 23-30.

94 Zoller H and Vogel W. Iron supplementation in athletes: First do no harm. *Nutrition* 2004; 20(7/8): 615-619.

95 Zotter H, Robinson N, Zorzoli M, Schattenberg L, Saugy M, and Mangin P. Abnormally high serum ferritin levels among professional road cyclists. *British Journal of Sports Medicine* 2004; 38(6): 704-708.

96 Gleeson M, Lancaster GI, and Bishop NC. Nutritional strategies to minimize exercise-induced immunosuppression in athletes. *Canadian Journal of Applied Physiology* 2001; 26(suppl.): S23-S35.

97 Dressendorfer, R.H., and Sockolov, R. 1980. Hypozincemia in runners. *Physician Sports Med.* 8: 97-100.

98 Haralambie, G. 1981. Serum zinc in athletes during training. *Int. J. Sports Med.* 2: 135-138.

99 Singh, A., Deuster, P.A., and Moser, P.B. 1990. Zinc and copper status of women by physical activity and menstrual status. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 30: 29-35.

100 Krotkiewski, M., Gudmundsson, M., Backstrom, P., and Mandroukas, K. 1982. Zinc and muscle strength and endurance. *Acta Physiol. Scand.* 116: 309-311.

101 Koury JC, de Olilveria AV Jr., Portella ES, de Olilveria CF, Lopes GC, and Donangelo CM. Zinc and copper biochemical indices of antioxidant status in elite athletes of different modalities. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(3): 358-372.

102 Brun JF, Dieu-Cambrezy C, Charpiat A, Fons C, Fedou C, Micallef JP, Fussellier M, Bardet L, and Orsetti A. Serum zinc in highly trained adolescent gymnasts. *Biological Trace Element Research* 1995; 47(1-3): 273-278.

103 Fischer, P.W.F., Giroux, A. and L'Abbe, M.R. 1984. Effect of zinc supplementation on copper status in adult man. *Am. J. Clin. Nutr.* 40: 743-746.

104 Hooper, P.L., Visconti, L., Garry, P.J., and Johnson, G.E. 1980. Zinc lowers high-density lipoprotein cholesterol levels. *JAMA* 244: 1960-1961.

105 Spencer, H. 1986. Minerals and mineral interactions in human beings. *J. Am. Diet. Assoc.* 86: 864-867.

106 Zamora, A.J., Tessier, F., Marconnet, P., Margaritis, I., and Marini, J.F. Mitochondria changes in human muscle after prolonged exercise, endurance training, and selenium supplementation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71(6): 505-511.

107 Bucci, L. 1993. *Nutrients as ergogenic aids for sports and exercise*. Boca Raton, FL: CRC Press.

108 Tessier, F., Margaritis, I., Richard, M.-J., Moynot, C., and Marconnet, P. 1995. Selenium and training effects on the glutathione system and aerobic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (3): 390-396.

109 Lukaski, H.C. 1995. Micronutrients (magnesium, zinc, and copper): Are mineral supplements needed for athletes? *Int. J. Sports Med.* 5: S74-S83.

110 Lukaski, H.C., Hoverson, B.S., Gallagher, S.K., and Bolonchuk, W.W. 1990. Physical training and copper, iron, and zinc status of swimmers. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 1093-1099.

111 Wolinsky, I., and Driskell, J.A. 1997. *Sports nutrition: Vitamins and trace elements*. Boca Raton, FL: CRC Press.

112 Wolinsky, I., and Driskell, J.A. 1997. *Sports nutrition: Vitamins and trace elements*. Boca Raton, FL: CRC Press.

113 Evans, G.W. 1989. The effect of chromium picolinate on insulin controlled parameters in humans. *Int. J. Biosocial Res.* 11: 163.

114 Clancy, S.P., Clarkson, P.M., DeCheke, M.E., Nosaka, K., Freedson, P.S., Cunningham, J.J., and Valentine, J.J. 1994. Effects of chromium picolinate supplementation on body composition, strength, and urinary chromium loss in football players. *Int. J. Sport Nutr.* 4: 142.

115 Hasten, D.L., Rome, E.P., Franks, B.D., and Hegsted, M. 1992. Effects of chromium picolinate on beginning weight training students. *Int. J. Sport Nutr.* 2: 343.

116 Stearns, D., Wise, J., Paterno, S., and Wetterhahn. 1995. Chromium (III) picolinate produces chromosome damage in Chinese hamster ovary cells. *FASEB J* 9: 1643-8.

Chapter 3

1 Poortmans J. Exercise and renal function. *Sports Medicine* 1984; 1: 125-153.

2 Zambraski EJ. Renal regulation of fluid homeostasis during exercise. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfe CV and Lamb CV). Carmel, IN: Benchmark Press. 1990: pp. 247-280.

3 It is necessary to excrete metabolic by-products. This excretion can take place via the production of dilute or concentrated urine, depending on hydration state.

4 Sawka MN, Latzka WA, and Montain SJ. Effects of dehydration and rehydration on performance. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: pp. 216-217.

5 Maughan RJ. Water and electrolyte loss and replacement in exercise. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: p. 226.

6 This assumes a mechanical efficiency conversion rate of 25%.

7 There is a loss of approximately 620 calories of heat energy for each liter of water evaporated from the skin's surface.

8 Leithead CS and Lind AR. *Heat stress and heat disorders*. London: Casell. 1964.

9 Maughan RJ. Thermoregulation and fluid balance in marathon competition at low ambient temperature. *International Journal of Sports Medicine* 1985; 6: 15-19.

10 Costill DL. *Sweating: Its composition and effects on body fluids.* Annals of the New York Academy of Sciences 1977; 301: 160-174.

11 Kenney WL. Body fluid and temperature regulation as a function of age: In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 8: Exercise in older adults* (Ed. Lamb DR, Gisolfi CV, and Nadel ER). Indianapolis: Benchmark Press. 1995: pp. 305-352.

12 Hubbard RW, Szlyk PC, and Armstrong LE. Influence of thirst and fluid palatability on fluid ingestion during exercise. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfi CV and Lamb DR). Indianapolis: Benchmark Press. 1990: pp. 39-95.

13 Fitzsimons JT. Evolution of physiological and behavioural mechanism in vertebrate body and homeostasis. In: *Thirst: Physiological and psychological aspects* (Ed. Ramsay DJ and Booth DA). ILSI Human Nutrition Reviews. London: Springer-Verlag. 1990: pp. 3-22.

14 Rehrer NJ. Factors influencing fluid bioavailability. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53 (suppl. 4): S8-S12.

15 Hubbard RW, Szlyk PC, and Armstrong LE. Influence of thirst and fluid palatability on fluid ingestion during exercise. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfi CV and Lamb DR). Carmel, IN: Benchmark Press, 1990: pp. 39-95.

16 Davis JM, Burgess WA, Slentz CA, Bartoli WP, and Pate RR. Effects of ingesting 6% and 12% glucose-electrolyte beverages during prolonged intermittent cycling in the heat. *European Journal of Applied Physiology* 1988; 57: 563-569.

17 Rehrer JN, Beckers EJ, Brouns F, ten Hoor F, and Saris WHM. Exercise and training effects on gastric emptying of carbohydrate beverages. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1989; 21: 540-549.

18 American College of Sports Medicine. Position paper: Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; 32(12): 2130-2145.

19 Glucose is also referred to as dextrose on package labels.

20 Rehrer JN, Brouns F, Beckers EJ, and Saris WHM. The influence of beverage composition and gastrointestinal function on fluid and nutrient availability during exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1994; 4: 159-172.

21 Noakes TD, Rehrer NJ, and Maughan RJ. The importance of volume in regulating gastric emptying. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991; 23: 307-313.

22 American College of Sports Medicine. Position paper: Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; 32(12): 2130-2145.

23 Sun WM, Houghton LA, Read NW, Grundy DG, and Johnson AG. Effect of meal temperature on gastric emptying of liquids in man. *Gut* 1988; 29: 302-305.

24 Costill DL and Saltin B. Factors limiting gastric emptying. *Journal of Applied Physiology* 1974; 37: 679-683.

25 Ryan AJ, Navarne AE, and Gisolfi CV. Consumption of carbonated and noncarbonated sports drinks during prolonged treadmill exercise in the heat. *International Journal of Sport Nutrition* 1991; 1: 225-139.

26 Lambert GP, Bleiler TL, Chang R, Johnson AK, and Gisolfi CV. Effects of carbonated and noncarbonated beverages at specific intervals during treadmill running in the heat. *International Journal of Sport Nutrition* 1993; 3: 177-193.

27 Rehrer JN, Brouns F, Beckers EJ, and Saris WHM. The influence of beverage composition and gastrointestinal function on fluid and nutrient availability during exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1994; 4: 159-172.

28 Wolf S. The psyche and the stomach. *Gastroenterology* 1981; 80: 605-614.

29 Rehrer NJ. Factors influencing fluid bioavailability. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S8-S12.

30 Rehrer NJ. Factors influencing fluid bioavailability. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S8-S12.

31 Bar-Or O. Children's responses to exercise in hot climates: Implications for performance and health. *GSSI Sports Science Exchange* 1994; 7(2): 1-4.

32 Gisolfi CV, Summers R, and Schedl H. Intestinal absorption of fluids during rest and exercise. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfi CV and Lamb DR). Carmel, IN: Benchmark Press, 1990: pp. 39-95.

33 Maughan RJ and Noakes TD. Fluid replacement and exercise stress: A brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sports Medicine* 1991; 12: 16-31.

34 Kenney WL. Heat flux and storage in hot environments. *International Journal of Sports Medicine* 1998; 19: S92-S95.

35 Kenefick R et al. Hypohydration adversely affects lactate threshold in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2002; 16: 38-43.

36 Naghii M. The significance of water in sport and weight control. *Nutrition and Health* 2000; 14: 127-132.

37 Bergeron M. Averting muscle cramps. *Physician and Sportsmedicine* 2002; 30(11): 14.

38 Bergeron M. Sodium: The forgotten nutrient. *GSSI Sports Science Exchange* 2000; 13(3): 1-4.

39 Eichner E. Heat stroke in sports: Causes, prevention, and treatment. *GSSI Sports Science Exchange* 2002; 15(3): 1-4.

40 Hyponatremia is descriptive of low blood sodium.

41 USA Track & Field is the national governing body (NGB) for the following events: track and field, long-distance running, and race walking.

42 Noakes T. The hyponatremia of exercise. *International Journal of Sport Nutrition* 1992; 2: 205-228.

43 Gisolfi C. Fluid balance for optimal performance. *Nutrition Revue* 1996; 54: S159-S168.

44 Rehrer N. Fluid and electrolyte balance in ultra-endurance sport. *Sports Medicine* 2001; 31: 701-715.

45 Speedy D, Noakes TD, and Schneider C. Exercise-associated hyponatremia: A review. *Emergency Medicine* 2001; 13: 17-27.

46 May Clinic staff. "Low blood sodium in endurance athletes." MayoClinic.com, July 28, 2003. http://www.mayoclinic.com/.

47 Hargreaves M. Physiological benefits of fluid and energy replacement during exercise. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S3-S7.

48 Burke LM. Rehydration strategies before and after exercise. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S22-S26).

49 Nadel ER, Mack GW, and Nose H. Influence of fluid replacement beverages on body fluid homeostasis during exercise and recovery. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfi CV and Lamb DR). Carmel, IN: Benchmark Press, 1990: pp. 181-205.

50 Kristal-Boneh E, Glusman JG, Shitrit R, Chaemovitz C, and Cassuto Y. Physical performance and heat tolerance after chronic water loading and heat acclimation. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 1995; 66: 733-738.

51 Burke LM. Rehydration strategies before and after exercise. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S22-S26.

52 Sawka MN, Montain SJ, and Lazka WA. Body fluid balance during exercise: Heat exposure. In *Body fluid balance: Exercise and sport (Ed. Buskirk ER and Puhl SM). Boca Raton, FL: CRC Press. 1996: pp. 143-161.*

53 Lyons TP, Riedesel ML, Meuli LE, and Chick TW. Effects of glycerol-induced hyperhydration prior to exercise in the heat on sweating and core temperatures. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1990; 22: 477-483.

54 Burke LM. Rehydration strategies before and after exercise. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S22-S26.

55 Montner P, Stark DM, Riedesel ML, Murata G, Robergs R, Timms M, et al. Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *International Journal of Sports Medicine* 1996; 17: 27-33.

56 Rehrer NJ. Fluid and electrolyte balance in ultra-endurance sport. *Sports Medicine* 2001; 31(10): 701-715.

57 Shirreffs SM, Armstrong LE, and Cheuvront SN. Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. *Journal of Sports Sciences* 2004; 22(1): 57-63.

58 Lyle DM, Lewis PR, Richards DAB, Richards R, Bauman AE, Sutton JR, et al. Heat exhaustion in the Sun-Herald city to surf fun run. *Medical Journal of Australia* 1994; 161: 361-365.

59 McConnell G, Burge CM, Skinner SL, and Hargreaves M. Ingested fluid volume and physiological responses during prolonged exercise in a mild environment. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27: S19 (abstract).

60 Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, and Dennis SC. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *International Journal of Sports Medicine* 1994; 15: 392-398.

61 Maughan RJ, Fenn CE, and Leiper JB. Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *European Journal of Applied Physiology* 1989; 58: 481-486.

62 Mitchell JB, Costill DL, Houmard JA, Fink WJ, Pascoe DD, and Pearson DR. Influence of carbohydrate dosage on exercise performance and glycogen metabolism. *Journal of Applied Physiology* 1989; 67: 1843-1849.

63 Tsintzas OK, Liu R, Williams C, Campbell I, and Gaitanos G. The effect of carbohydrate ingestion on performance during a 30-km race. *International Journal of Sport Nutrition* 1993; 3: 127-139.

64 Coggan AR and Coyle EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *Journal of Applied Physiology* 1987; 63: 2388-2395.

65 Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehami AA, and Holloszy JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *Journal of Applied Physiology* 1983; 55: 230-235.

66 Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, and Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged, strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology* 1986; 61: 165-172.

67 Tsintzas OK, Williams C, Boobis L, and Greenhaff P. Carbohydrate ingestion and glycogen utilization in different muscle fibre types in man. *Journal of Physiology* 1995; 489: 243-250.

68 Hargreaves M, Costill DL, Coggan AR, Fink WJ, and Nishibata I. Effect of carbohydrate feedings on muscle glycogen utilization and exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1984; 16: 219-222.

69 Yaspelkis BB, Patterson JG, Anderla PA, Ding Z, and Ivy JL. Carbohydrate supplementation spares muscle glycogen during variable-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology* 1993; 75: 1477-1485.

70 Below PR, Mora-Rodriquez R, Gonzalez-Alonso J, and Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27: 200-210.

71 Nicholas CW, Williams C, Lakomy HKA, Phillips G, and Nowitz A. Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high intensity shuttle running. *Journal of Sports Sciences* 1995; 13: 283-290.

72 Simard C, Tremblay A, and Jobin M. Effects of carbohydrate intake before and during an ice hockey match on blood and muscle energy substrates. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 1988; 59: 144-147.

73 Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, and Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged, strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology* 1986; 61: 165-172.

74 Murray R, Paul GL, Seifert JG, Eddy DE, and Halaby GA. The effects of glucose, fructose, and sucrose ingestion during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1989; 21: 275-282.

75 Owen MD, Kregel KC, Wall PT, and Gisolfi CV. Effects of ingesting carbohydrate beverages during exercise in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1986; 18: 568-575.

76 Murray R, Paul GL, Seifert JG, Eddy DE, Halaby GA. The effects of glucose, fructose, and sucrose ingestion during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1989; 21: 275-282.

77 Bjorkman O, Sahlin K, Hagenfeldt L, and Wahren J. Influence of glucose and fructose ingestion on the capacity for long-term exercise in well-trained men. *Clinical Physiology* 1984; 4: 483-494.

78 Hargreaves M. Physiological benefits of fluid and energy replacement during exercise. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S3-S7.

79 Mason WL, McConell GK, and Hargreaves M. Carbohydrate ingestion during exercise: Liquid vs. solid feedings. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1993; 25: 966-969.

80 A 1 percent carbohydrate solution is 1 gram of carbohydrate per 100 milliliters of water. One liter of water is 1,000 milliliters, so consumption of 1 liter of a 6 percent carbohydrate solution will provide 240 calories from carbohydrate (6 × 4 kilocalories per gram × 10).

81 Coggan AR and Coyle EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *Journal of Applied Physiology* 1987; 63: 2388-2395.

82 Coyle EF and Montain SJ. Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1992; 24(suppl.): S324-S330.

83 Wagenmakers AJM, Brouns F, Saris WHM, and Halliday D. Oxidation rates of orally ingested carbohydrates during prolonged exercise in men. *Journal of Applied Physiology* 1993; 75: 2774-2780.

84 Broad EM, Burke LM, Gox GR, Heeley P, and Riley M. Body weight changes and voluntary fluid intakes during training and competition sessions in team sports. *International Journal of Sport Nutrition* 1996; 6: 307-320.

85 Noakes TD, Adams BA, Myburgh KH, Greff C, Lotz T, and Nathan M. The danger of inadequate water intake during prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology* 1988; 57: 210-219.

86 Rothstein A, Adolph EF, and Wills JH. Voluntary dehydration. In: *Physiology of man in the desert* (Ed. Adolph EF). New York: Interscience. 1947: pp. 254-270.

87 Carter JE and Gisolfi CV. Fluid replacement during and after exercise in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1989; 21: 532-539.

88 Gonzalez-Alonso J, Heaps CL, and Coyle EF. Rehydration after exercise with common beverages and water. *International Journal of Sports Medicine* 1992; 13: 399-406.

89 Maughan RJ and Leiper JB. Sodium intake and post-exercise rehydration in man. *European Journal of Applied Physiology* 1995; 71: 311-319.

90 Maughan RJ, Leiper JB, and Shirreffs SM. Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: Effects of food and fluid intake. *European Journal of Applied Physiology* 1996; 73: 317-325.

91 Burke LM. Rehydration strategies before and after exercise. *Australian Journal of Nutrition and Dietetics* 1996; 53(suppl. 4): S22-S26.

Chapter 4

1 Greenhaff, P.L., Casey, A., Short, A.H., Harris, R., Soderlund, K., and Hultman, E. 1993. Influence of oral creatine supplementation of muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin. Sci.* 84: 565-571.

2 Harris, R.C., Soderlund, K., and Hultman, E. 1992. Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clin. Sci.* 83: 367-374.

3 Maughan, R.J. 1995. Creatine supplementation and exercise performance. *Intl. J. Sport Nutr.* 5: 94-101.

4 Walker, J.B. 1979. Creatine biosynthesis, regulation, and function. *Adv. Enzmmol.* 50: 117-142.

5 Butterfield, G., Cady, C., and Moynihan, S. 1992. Effect of increasing protein intake on nitrogen balance in recreational weight lifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: S71.

6 Ahrendt DM. Ergogenic aids: Counseling the athlete. *American Family Physician* 2001; 63(5): 913-922.

7 Gurley BJ, Gardner SF, White LM, and Wang PL. Ephedrine pharmacokinetics after the ingestion of nutritional supplements containing ephedra sinica (ma huang). *Therapeutic Drug Monitoring* 1998; 20: 439-45.

8 Maughan RJ. Dietary supplements: Contamination may cause failed drug tests. *GSSI Hot Topics* 2001 (May).

9 Nagle, F.J., and Bassett, D.R. 1989. Energy metabolism. In *Nutrition in exercise and sport*, ed. Hickson, J.F., and Wolinsky, I. Boca Raton, FL: CRC Press, 87-106.

10 Costill, D.L., and Hargreaves, M. 1992. Carbohydrate nutrition and fatigue. *Sports Med.* 13 (2): 86

11 Valeriani, A. 1991. The need for carbohydrate intake during endurance exercise. *Sports Med.* 12 (6): 349.

12 Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Phillips SM, and MacDougall JD. Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and women. *Journal of Applied Physiology* 1995; 78: 1360-1368.

13 Nagle, F.J., and Bassett, D.R. 1989. Energy metabolism. In *Nutrition in exercise and sport*, ed. Hickson, J.F., and Wolinsky, I. Boca Raton, FL: CRC Press, 87-106.

14 Coyle, E.F. 1983. Effects of glucose polymer feedings on fatigability and the metabolic response to prolonged strenuous exercise. In *Ross symposium on nutrient utilization during exercise*, ed. Fox, E.L. Columbus, OH: Ross Laboratories, 4-11.

15 Berning JR, Leenders MM, Ratliff K, Clem KL, and Troup JP. The effects of a high carbohydrate pre-exercise meal on the consumption of confectioneries of different glycemic indices. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1993; 25(5): S125.

16 Anantaraman R, Carmines AA, Gaesser GA, and Weltman A. The effects of carbohydrate supplementation on maximal effort endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1994; 26(5): S34.

17 Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *Journal of Sports Sciences* 1991; 9: 18-37.

18 Roy BD, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Fowles J, and Yarasheski KE. The effect of oral glucose supplements on muscle protein synthesis following resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1996; 28(5): S769.

19 Nagle, F.J., and Bassett, D.R. 1989. Energy metabolism. In *Nutrition in exercise and sport*, ed. Hickson, J.F., and Wolinsky, I. Boca Raton, FL: CRC Press, 87-106.

20 Greenhaff, P.L. 1995. Creatine and its application as an ergogenic aid. *Int. J. Sport Nutr.* 5: S100-S110.

21 Greenhaff, P.L., Casey, A., Short, A.H., Harris, R., Soderlund, K., and Hultman, E. 1993. Influence of oral creatine supplementation on muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin. Sci.* 84: 565-571.

22 Maughan, R.J. 1995. Creatine supplementation and exercise performance. *Intl. J. Sport Nutr.* 5: 94-101.

23 Volek JS and Rawson ES. Scientific basis and practical aspects of creatine supplementation for athletes. *Nutrition* 2004; 20: 609-614.

24 Kozak, C.J., Benardot, D., Cody, M., Doyle, J.A., and Thompson, W.R. 1996. The effect of creatine monohydrate supplementation on anaerobic power and anaerobic endurance in elite female gymnasts. Master's thesis, Georgia State University.

25 Koenig C, Benardot D, Cody M, and Thompson W. The influence of creatine monohydrate and carbohydrate supplements on repeated jump height. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2004; 36(5): S347.

26 Harris, R.C., Soderlund, K., and Hultman, E. 1992. Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clin. Sci.* 83: 367-374.

27 Maughan, R.J. 1995. Creatine supplementation and exercise performance. *Intl. J. Sport Nutr.* 5: 94-101.

28 Walker, J.B. 1979. Creatine biosynthesis, regulation, and function. *Adv. Enzmmol.* 50: 117-142.

29 Maughan, R.J. 1995. Creatine supplementation and exercise performance. *Intl. J. Sport Nutr.* 5: 94-101.

30 Robergs RA. Glycerol hyperhydration to beat the heat? *Sportscience Training and Technology* 1988 (January).

31 Montner P, Stark DM, Riedesel ML, Murata G, Robergs RA, Timms M, and Chick TW. Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *International Journal of Sports Medicine* 1996; 17: 27-33.

32 Montgomery, D.L, and Beaudin, P.A. 1982. Blood lactate and heart rate response of young females during gymnastic routines. *J. Sports Med.* 22: 358-365.

33 Hyland PJ, MacConnie SE, and Meigs RA. The effect of sodium bicarbonate ingestion on work output during a 2,000 meter rowing ergometer time trial. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1993; 25(5): S1085.

34 Webster MJ, Webster MN, Crawford RE, and Gladden LB. Effect of sodium bicarbonate ingestion on exhaustive resistance exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1993; 25(5): S1086.

35 Avedisian L, Guerra A, Wilcox A, and Fox S. The effect of selected buffering agents on performance in the competitive 1600 meter run. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27(5): S133.

36 Butterfield, G., Cady, C., and Moynihan, S. 1992. Effect of increasing protein intake on nitrogen balance in recreational weight lifters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: S71.

37 Tarnopolsky, M.A., MacDougall, J.D., and Atkinson, S.A. 1988. Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *J. Appl. Physiol.* 64 (1): 187-193.

38 Spriet, L.L. 1995. Caffeine and performance. *Int. J. Sport Nutr.* 5: S84-S99.

39 Bucci, L. 1993. *Nutrients as ergogenic aids for sports and exercise.* Boca Raton, FL: CRC Press.

40 Graham TE and Spriet LL. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology* 1991; 71: 2292-2298.

41 Silver MD. Use of ergogenic aids by athletes. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 2001; 9(1): 61-70.

42 Kalmar JM and Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *Journal of Applied Physiology* 1999; 87: 801-808.

43 Paluska SA. Caffeine and exercise. *Current Sports Medicine Reports* 2003; 2(4): 213-219.

44 Kanter, M.M., and Williams, M.H. 1995. Antioxidants, carnitine, and choline as putative ergogenic aids. *Int. J. Sport Nutr.* 5: S120-S131.

45 Clarkson PM. Nutrition for improved sports performance: Current issues on ergogenic aids. *Sports Medicine* 1996; 21: 393-401.

46 Juhnson WA and Landry GL. Nutritional supplements: Fact vs. fiction. *Adolescent Medicine* 1998; 9: 501-513.

47 Bucci, L. 1993. *Nutrients as ergogenic aids for sports and exercise.* Boca Raton, FL: CRC Press, 6; 20.

48 Oostenbrug GS, Mensink RP, Hardeman MR, DeVries T, Brouns F, and Hornstra G. Exercise performance, red blood cell deformability, and lipid peroxidation: Effects of fish oil and vitamin E. *Journal of Applied Physiology* 1997; 83(3): 746-752.

49 Raastad T, Hostmark AT, and Stromme SB. Omega-3 fatty acid supplementation does not improve maximal aerobic power, anaerobic threshold and running performance in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1997; 7: 25-31

50 Babayan, V.K. 1967. Medium-chain triglycerides: Their composition, preparation, and application. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 45: 23.

51 Bach, A.S., and Babayan, V.K. 1982. Medium-chain triglycerides: An update. *Am. J. Clin. Nutr.* 36: 950.

52 Misell LM, Lagomarcino ND, Schuster V, and Kern M. Chronic medium-chain triacylglycerol consumption and endurance performance in trained runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2001; 41(2): 210-215.

53 Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, and Coyle EF. Preexercise medium-chain triglyceride ingestion does not alter muscle glycogen use during exercise. *Journal of Applied Physiology* 2000; 88(1): 219-225.

54 Goedecke JH, Elmer-English R, Dennis SC, Schloss I, Noakes TD, and Lambert EV. Effects of medium-chain triaclyglycerol ingested with carbohydrate on metabolism and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition* 1999; 9(1): 35-47.

55 Avakian, E.V., and Sugimoto, B.R. 1980. Effect of Panax ginseng extract on blood energy substrates during exercise. *Fed. Proc.* 39: 287.

56 Morris AC, Jacobs I, Klugerman A, and McLellan, TM. No ergogenic effect of ginseng extract ingestion. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1994; 26(5): S35.

Chapter 5

1 This common bacterium is the cause of the majority of all stomach ulcers. Eighty percent of people in developing countries are infected, and in the United States about 20 percent of young adults and 50 percent of adults older than age 60 are infected. H. pylori appears to be transmitted from person to person by close contact. Most people become infected with H. pylori in childhood, and that infection remains throughout life unless eliminated through antibiotics.

2 Shi X, Bartoli W, Horn M, and Murray R. Gastric emptying of cold beverages in humans: Effect of transportable carbohydrates. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10: 394-403.

3 Maughan RJ and Leiper JB. Limitations to fluid replacement during exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology* 1999; 24(2): 173-187.

4 The pancreatic duct and bile duct meet to form a single duct, referred to as the common bile duct.

5 Emulsifying agents are unique chemicals, water soluble on one end and fat soluble on the other. The fat-soluble end attaches itself to fat droplets, and the water-soluble end surrounds the fat droplet. This allows the fat to mix (and stay mixed) in a water-based environment.

6 Bile has an interesting feature in that it is 50 percent cholesterol. Higher intakes of fat stimulate a higher production of bile, which is absorbed with the fats it has emulsified. This higher bile production–absorption cycle increases circulating cholesterol, even if the intake of dietary cholesterol is zero. Therefore, dietary fat intake is more of a culprit in high circulating cholesterol levels than dietary cholesterol intake.

7 Vitamin B_{12} requires intrinsic factor, which is produced by the parietal cells of the stomach, for absorption. A failure to produce intrinsic factor will cause vitamin B_{12} deficiency disease (pernicious anemia), regardless of the amount of B_{12} consumed.

8 Yogurt is made from pasteurized milk using one of these bacterial strains.

Chapter 6

1 Ziegler PJ, Jonnalagadda SS, Nelson JA, Lawrence C, & Baciak B. Contribution of meals and snacks to nutrient intake of male and female elite figure skaters during peak competitive season. *Journal of the American College of Nutrition* 2002; 21(2): 115-119.

2 Burke LM. Energy needs of athletes. *Canadian Journal of Applied Physiology* 2001; 26(suppl.): S202-S219.

3 Hubbard RW, Szlyk PC, and Armstrong LE. Influence of thirst and fluid palatability on fluid ingestion during exercise. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfi CV and Lamb DR). Carmel, IN: Benchmark Press. 1990: pp. 39-95.

4 Hawley JA and Burke LM. Meal frequency and physical performance. *British Journal of Nutrition* 1997; 77: S91-S103.

5 Deutz B, Benardot D, Martin D, and Cody M. Relationship between energy deficits and body composition in elite female gymnasts and runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; 32(3): 659-668.

6 Iwao S, Mori K, and Sato Y. Effects of meal frequency on body composition during weight control in boxers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1996; 6(5): 265-272.

7 Dulloo AG and Girardier C. Adaptive changes in energy expenditure during refeeding following low-calorie intake: Evidence for a specific metabolic component favoring fat storage. *American Journal of Clinical Nutrition* 1990; 52: 415-420.

8 Saltzman E and Roberts SB. The role of energy expenditure in regulation: Findings from a decade of research. *Nutrition Reviews* 1995; 53(8): 209-220.

9 Benardot D and Thompson WR. Energy: The importance of getting enough and getting it on time. *ACSM's Health and Fitness Journal* 1999; 3(4): 14-18.

10 Heshka S, Yank M-U, Wang J, Burt P, and Pi-Sunyer FX. Weight loss and change in resting metabolic rate. *American Journal of Clinical Nutrition* 1990; 52: 981-986.

11 Deutz B, Benardot D, Martin D, and Cody M. Relationship between energy deficits and body composition in elite female gymnasts and runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; 32(3): 659-668.

12 Hawley JA and Burke LM. Meal frequency and physical performance. *British Journal of Nutrition* 1997; 77: S91-S103.

13 Jenkins DJA et al. Nibbling versus gorging: Metabolic advantages of increased meal frequency. *New England Journal of Medicine* 1989; 321(14): 929-934.

14 Metzner HL, Lamphiear DE, Wheeler NC, and Larkin FA. The relationship between frequency of eating and adiposity in adult men and women in the Tecumseh Community Health Study. *American Journal of Clinical Nutrition* 1977; 30: 712-715.

15 Steen SN, Oppliger RA, and Brownell KD. Metabolic effects of repeated weight loss and regain in adolescent wrestlers. *Journal of the American Medical Association* 1988; 260(1): 47-50.

16 Benardot D, Martin DE, Thompson WR, and Roman S. Between-meal energy intake effects on body composition, performance, and total caloric consumption in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2005; 37(5): S339.

17 deCastro JM. Genetic influences on daily intake and meal patterns of humans. *Physiology and Behavior* 1993; 53(4): 777-782.

18 LeBlanc J, Mercier I, and Nadeau A. Components of postprandial thermogenesis in relation to meal frequency in humans. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 1993; 71(12): 879-883.

19 Luke A and Schoeller DA. Basal metabolic rate, fat-free mass, and body cell mass during energy restriction. *Metabolism* 1992; 41(4): 450-456.

20 Tuschl RJ, Platte P, Laessle RG, Stichler W, and Pirke KM. Energy expenditure and everyday eating behavior in healthy young women. *American Journal of Clinical Nutrition* 1990; 52(1): 81-86.

21 Heshka S, Yang MU, Wang J, Burt P, and Pi-Sunyer FX. Weight loss and change in resting metabolic rate. *American Journal of Clinical Nutrition* 1990; 52(6): 981-986.

22 Farshchi HR, Taylor MA, and Macdonald IA. Decreased thermic effect of food after an irregular compared with a regular meal pattern in healthy lean women. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders* 2004; 28(5): 653-660.

23 Jenkins DJA, Wolever TM, Vuksan V, Brighenti F, Cunnane SC, Rao AV, Jenkins AL, Buckley G, Patten R, Singer W, et al. Nibbling versus gorging: Metabolic advantages of increased meal frequency. *New England Journal of Medicine* 1989; 321(14): 929-934.

24 Kassab SE, Abdul-Ghaffar T, Nagalla DS, Sachdeva U, and Nayar U. Serum leptin and insulin levels during chronic diurnal fasting. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 2003; 12(4): 483-487.

25 Hubbard RW, Szlyk PC, and Armstrong LE. Influence of thirst and fluid palatability on fluid ingestion during exercise. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine, volume 3: Fluid homeostasis during exercise* (Ed. Gisolfi CV and Lamb DR). Carmel, IN: Benchmark Press. 1990: pp. 39-95.

26 Sandor RP. Heat illness: On-site diagnosis and cooling. *Physician and Sportsmedicine* 1997; 25(6).

27 Benardot D. *Nutrition for serious athletes: An advanced guide to foods, fluids, and supplements for training and performance.* Champaign, IL: Human Kinetics. 2000: pp. 77-78.

28 Williams MH. *Nutrition for health, fitness and sport.* 5th ed. New York: WCB McGraw-Hill: pp. 276-277.

29 Maughan RJ and Noakes TD. Fluid replacement and exercise stress: A brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sports Medicine* 12: 16-31.

30 Levey JM. Runner's diarrhea. *American Medical Association Quarterly* 2000; 14(1): 6-7.

31 Osmolality is determined by the number of particles in a solution, not the size of the particles. Therefore, you can deliver more carbohydrate with a lower osmolality when polymers (strands of attached glucose) are used instead of individual glucose molecules.

32 Blom PCS, Hostmark AT, Vaage O, Kardel KR, and Maehlum S. Effect of different post-exercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1987; 19: 491-496.

33 Welsh RS, Davis JM, Burke JR, and Williams HG. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002; 34: 723-731.

34 Walberg-Rankin J, Ocel JV, and Craft LL. Effect of weight loss and refeeding diet composition on anaerobic performance in wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1996; 28: 1292-1299.

35 Conley M and Stone M. Carbohydrate ingestion/supplementation for resistance exercise and training. *Sports Medicine* 1996; 21: 7-17.

36 Jeukendrup A, Brouns F, Wagenmakers AJ, and Saris WH. Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *International Journal of Sports Medicine* 1997; 18(2): 125-129.

37 Davis JM, Jackson DA, Broadwell MS, Queary JL, and Lambert CL. Carbohydrate drinks delay fatigue during intermittent, high-intensity cycling in active men and women. *International Journal of Sport Nutrition* 1997; 7: 261-273.

38 Kimber N, Ross JJ, Mason SL, and Speedy DB. Energy balance during an ironman triathlon in male and female triathletes. International *Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2002; 12: 47-62.

39 Glycogen storage requires extra fluid in a 3: 1 ratio (water: glycogen).

40 Sherman WM, Costill DL, Fink W, Hagerman F, Armstrong L, and Murray T. Effect of a 42.2-km footrace and subsequent rest or exercise on muscle glycogen and enzymes. *Journal of Applied Physiology* 1983; 55: 1219-1224.

41 Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, and Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica* 1967; 71: 140-150.

Chapter 7

1 Maughan RJ. Role of micronutrients in sport and physical activity. *British Medical Bulletin* 1999; 55(3): 683-690.

2 Weiler JM, Metzger WJ, Donnelly AL, Crowley ET, and Sharath MD. Prevalence of bronchial hyperresponsiveness in highly trained athletes. *Chest* 1986; 90(1): 23-28.

3 Larsson K, Ohlsen P, Larsson L, Malmberg P, Rydstrom PO, and Ulriksen H. High prevalence of asthma in cross country skiers. *British Medical Journal* 1993; 307(6915): 1326-1329.

4 Columbini L. Exercise-induced asthma in children. *Canadian Journal of Continuing Medical Education* 1998; 10(8): 67-81.

5 Lacroix VJ. Exercise-induced asthma. *Physician and Sportsmedicine* 1999; 27(12).

6 Schumacher YO, Schmid A, Grathwohl D, Bultermann D, and Berg A. Hematological indices and iron status in athletes of various sports and performances. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002; 34(5): 869-875.

7 Beard J and Tobin B. Iron status and exercise. *American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 72(2): S594-S597.

8 Portal S, Epstein M, and Dubnov G. Iron deficiency and anemia in female athletes: Causes and risks. *Harefuah* 2003; 142(10): 698-703, 717.

9 Lukaski HC. Vitamin and mineral status: Effects on physical performance. *Nutrition* 2004; 20(7/8): 632-644.

10 Jones GR and Newhouse I. Sport-related hematuria: A review. *Clinical Journal of Sport Medicine* 1997; 7(2): 119-125.

11 Fallon KE and Bishop G. Changes in erythropoiesis assessed by reticulocyte parameters during ultralong distance running. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2002; 12(3): 172-178.

12 Shaskey DJ and Green GA. Sports haematology. *Sports Medicine* 2000; 29(1): 27-38.

13 Opara EC. Oxidative stress, micronutrients, diabetes mellitus and its complications. *Journal of the Royal Society of Health* 2002; 122(1): 28-34.

14 Shephard RJ and Shek PN. Immunological hazards from nutritional imbalance in athletes. *Exercise Immunology Review* 1998; 4: 22-48.

Chapter 8

1 Zone JJ. Skin manifestations of celiac disease. *Gastroenterology* 2005; 128(4) (suppl. 1): S87-S91.

2 Dewar DH and Ciclitira PJ. Clinical features and diagnosis of celiac disease. *Gastroenterology* 2005; 128(4) (suppl. 1): S19-S24.

3 Kupper C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology* 2005; 128(4) (suppl. 1): S121-S127.

4 Dube C, Rostom A, Sy R, Cranney A, Saloojee N, Garritty C, Sampson M, Zhang L, Yazdi F, Mamaladze V, Pan I, Macneil J, Mack D, Patel D, and Moher D. The prevalence of celiac disease in average-risk and at-risk Western European populations: A systematic review. *Gastroenterology* 2005; 128(4) (suppl. 1): S57-S67.

5 Kupper C. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology* 2005; 128(4) (suppl. 1): S121-S127.

6 Wells RW and Blennerhassett MG. The increasing prevalence of Crohn's disease in industrialized societies: The price of progress? *Canadian Journal of Gastroenterology* 2005; 19(2): 89-95.

7 Nayar M and Rhodes JM. Management of inflammatory bowel disease. *Postgraduate Medical Journal* 2004; 80(942): 206-213.

8 Ikeuchi H, Yamamura T, Nakano H, Kosaka T, Shimoyama T, and Fukuda Y. Efficacy of nutritional therapy for perforating and non-perforating Crohn's disease. *Hepatogastroenterology* 2004; 51(58): 1050-1052.

9 Faloon WW, Paes IC, Woolfolk D, Nankin H, Wallace K, and Haro EN. Effect of neomycin and kanamycin upon intestinal absorption. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1966; 132(2): 879-887.

10 Mahan LK and Escott-Stump S (Eds.). *Krause's Food, Nutrition, & Diet Therapy.* Philadelphia: Saunders. 2000. p. 403.

11 Faucheron JL and Parc R. Non-steroidal anti-inflammatory drug induced colitis. *International Journal of Colorectal Disease* 1996; 11: 99.

12 Haber P. Magnesium update. *Acta Medica Austriaca* 2004; 31(2): 37-39.

13 El-Sayed MS, Ali N, and El-Sayed Ali Z. Interaction between alcohol and exercise: Physiological and haematological implications. *Sports Medicine* 2005; 35(3): 257-269.

14 Review article: Alcohol, vitamin A, and β-carotene: Adverse interactions, including hepatotoxicity and carcinogenicity. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999; 69(6): 1071-1085.

15 Peretti-Watel P, Guagliardo V, Verger P, Pruvost J, Mignon P, and Obadia Y. Sporting activity and drug use: Alcohol, cigarette and cannabis use among elite student athletes. *Addiction* 2003; 98(9): 1249-1256.

16 Miller KE, Hoffman JH, Barnes GM, Farrell MP, Sabo D, and Melnick MJ. Jocks, gender, race, and adolescent problem drinking. *Journal of Drug Education* 2003; 33(4): 445-462.

17 Lorente FO, Souville M, Griffet J, and Grelot L. Participation in sports and alcohol consumption among French adolescents. *Addictive Behaviors* 2004; 29(5): 941-946.

Chapter 9

1 Gayton WF, Broida J, and Elgee L. An investigation of coaches perceptions of the causes of home advantage. *Perceptual Motor Skills* 2001; 92(3): 933-936.

2 Nevill AM and Holder RL. Home advantage in sport: An overview of studies on the advantage of playing at home. *Sports Medicine* 1999; 28(4): 221-236.

3 Loat E and Rhodes EC. Jet-lag and human performance. Sports Medicine 1989; 8(4): 226-238.

4 Pace A and Carron AV. Travel and the home advantage. Canadian Journal of Sport Sciences 1992; 17(1): 60-64.

5 Bishop D. The effects of travel on team performance in the Australian national netball competition. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2004; 7(1): 118-122.

6 Reilly T, Atkinson G, and Waterhouse J. Travel fatigue and jet-lag. *Journal of Sports Sciences* 1997; 15(3): 365-369.

7 Atkinson G and Reilly T. Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine* 1996; 21(4): 292-312.

8 Hill DW, Hill CM, Fields KL, and Smith JC. Effects of jet lag on factors related to sport performance. *Canadian Journal of Applied Physiology* 1993; 18(1): 91-103.

9 Straub WF, Spino MP, Alattar MM, Pfleger B, Downes JW, Belizaire MA, Heinonen OJ, and Vasankari T. The effect of chiropractic care on jet lag of Finnish junior elite athletes. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2001; 24(3): 191-198.

10 Nieman DC. Current perspective on exercise immunology. *Current Sports Medicine Reports* 2003; 5: 239-242.

11 So SC, Ko J, Yuan YW, Lam JJ, and Louie L. Severe acute respiratory syndrome and sport: Facts and fallacies. *Sports Medicine* 2004; 34(15): 1023-1033.

12 Gatorade Sports Nutrition Advisory Board. "Eating on the Road." Chicago, IL: Gatorade Sports Science Institute. 1996.

13 Mielcarek J & Kleiner S. "Time Zone Changes." *Sports Nutrition: A Guide for Professionals Working with Active People*. Ed: Benardot D. Chicago: American Dietetic Association. 1993.

Chapter 10

1 National Academy of Sciences. *Nutritional needs in cold and high-altitude environments: Applications for military personnel in field operations.* Washington DC: National Academy Press. 1996: p. 9.

2 Horvath SM. Exercise in a cold environment. *Exercise Sport Science Review* 1981; 9: 221-263.

3 Webb P. Temperature of skin, subcutaneous tissue, muscle and core in resting men in cold, comfortable and hot conditions. *European Journal of Applied Physiology* 1992; 64: 471-476.

4 Vallerand AL and Jacobs I. Rates of energy substrates utilization during human cold exposure. *European Journal of Applied Physiology* 1989; 58: 873-878.

5 Young AJ, Muza SR, Sawka MN, Gonzalez RR, and Pandolf KB. Human thermoregulatory responses to cold air are altered by repeated cold water immersion. *Journal of Applied Physiology* 1986; 60: 1542-1548.

6 Febbraio MA. Exercise in climatic extremes. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000. p. 498.

7 Young AJ. Effects of aging on human cold tolerance. *Experimental Aging Research* 1991; 17(3): 205-213.

8 Freund BJ and Sawka MN. Influence of cold stress on human fluid balance. In: *Nutritional needs in cold and high altitude environments*. Washington DC: National Academy Press. 1996: p. 161.

9 Jefferson JA, Simoni J, Escudero E, Hurtado ME, Swenson ER, Wesson DE, Schreiner GF, Schoene RB, Johnson RJ, and Hurtado A. Increased oxidative stress following acute and chronic high altitude exposure. *High Altitude Medicine and Biology* 2004; 5(1): 61-69.

10 Altitude illness. NOLS Wilderness First Aid. Available: www.elbrus.org/engl/high_altitude1.htm [March 21, 2005].

11 Askew EW. Nutrition at high altitude. Wilderness Medical Society. Available: www.wms.org/pubs/altitude.html [March 21, 2005].

12 Rodway GW, Hoffman LA, and Sanders MH. High-altitude-related disorders, part I: Pathophysiology, differential diagnosis, and treatment. *Heart Lung* 2003; 32(6): 353-359.

13 Leppk JA, Icenogle MV, Maes D, Riboni K, Hinghofer-Szalkay H, and Roach C. Early fluid retention and severe acute mountain sickness. *Journal of Applied Physiology* 2005; 98(2): 591-597.

14 Talbot TS, Townes DA, and Wedmore IS. To air is human: Altitude illness during an expedition length adventure race. *Wilderness and Environmental Medicine* 2004; 15(2): 90-94.

15 Gallagher SA and Hackett PH. High-altitude illness. *Emergency Medicine Clinics of North America* 2004; 22(2): 329-355.

16 Hackett PH and Roach RC. High altitude cerebral edema. *High Altitude Medicine and Biology* 2004; 5(2): 136-146.

17 High altitude medicine guide. Available: www.high-altitude-medicine.com/AMS.html [March 25, 2005].

18 Ri-Li G, Chase PJ, Witkowski S, Wyrick BL, Stone JA, Levine BD, and Babb TG. Obesity: Associations with acute mountain sickness. *Annals of Internal Medicine* 2003; 139(4): 253-257.

19 Beidleman BA, Muza SR, Fulco CS, Cymerman A, Ditzler D, Stulz D, Staab JE, Skrinar GS, Lewis SF, and Sawka MN. Intermittent altitude exposures reduce acute mountain sickness at 4300 m. *Clinical Science* 2004; 106(3): 321-328.

20 Dumont L, Lysakowski C, Tramer MR, Junod JD, Mardirosoff C, Tassonyi E, and Kayser B. Magnesium for the prevention and treatment of acute mountain sickness. *Clinical Science* 2004; 106(3): 269-277.

21 Bartsch P, Bailey DM, Berger MM, Knauth M, and Baumgartner RW. Acute mountain sickness: Controversies and advances. *High Altitude Medicine and Biology* 2004; 5(2): 110-124.

22 Major C and Doucet E. Energy intake during a typical Himalayan trek. *High Altitude Medicine and Biology* 2004; 5(3): 355-363.

23 Rose MS, Houston CS, Fulco CS, Coates G, Sutton JR, and Cymerman A. Operation Everest II: Nutrition and body composition. *Journal of Applied Physiology* 1988; 65: 2545.

24 Butterfield GE. Maintenance of body weight at altitude: In search of 500 kcal/day. In: *Nutritional needs in cold and high altitude environments* (Ed. Marriott BM and Carlson SJ). Washington DC: National Academy Press. 1996: p. 357.

25 Freund BJ and Sawka MN. Influence of cold stress on human fluid balance. In: *Nutritional needs in cold and high altitude environments* (Ed. Marriott BM and Carlson SJ). Washington DC: National Academy Press. 1996: p. 167.

26 Freund BJ and Sawka MN. Influence of cold stress on human fluid balance. In: *Nutritional needs in cold and high altitude environments* (Ed. Marriott BM and Carlson SJ). Washington DC: National Academy Press. 1996: p. 170.

27 Reynolds RD, Lickteig JA, Deuster PA, Howard MP, Conway JM, Pietersma A, deStoppelaar J, and Deurenberg P. Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest. *Journal of Nutrition* 1999; 129(7): 1307-1314.

28 Westerterp-Plantenga MS. Effects of extreme environments on food intake in human subjects. *Proceedings of the Nutrition Society* 1999; 58(4): 791-798.

29 Nutritional advice for military operations in a high-altitude environment. Available: http: //www.usariem.army.mil/nutri/nuadalti.htm [March 21, 2005].

30 Reynolds RD, Lickteig JA, Howard MP, and Deuster PA. Intakes of high fat and high carbohydrate foods by humans increased with exposure to increasing altitude during an expedition to Mt. Everest. *Journal of Nutrition* 1998; 128(1): 50-55.

31 Askew EW. Environmental and physical stress and nutrient requirements. *American Journal of Clinical Nutrition* 1995; 61(3): S632-S637.

32 Chao WH, Askew EW, Roberts DE, Wood SM, and Perkins JB. Oxidative stress in humans during work at moderate altitude. *Journal of Nutrition* 1999; 129(11): 2009-2012.

33 Freund BJ and Sawka MN. Influence of cold stress on human fluid balance. In: *Nutritional needs in cold and high altitude environments* (Ed. Marriott BM and Carlson SJ). Washington DC: National Academy Press. 1996: p. 175.

34 Freund BJ and Sawka MN. Influence of cold stress on human fluid balance. In: *Nutritional needs in cold and high altitude environments* (Ed. Marriott BM and Carlson SJ). Washington DC: National Academy Press. 1996: pp. 170-171.

35 Murray R. Fluid needs in hot and cold environments. *International Journal of Sport Nutrition* 1995; 5: S62-S73.

Chapter 11

1 Unnithan VB and Goulopoulou S. Nutrition for the pediatric athlete. *Current Sports Medicine Reports* 2004; 3(4): 206-211.

2 Petrie HJ, Stover EA, and Horswill CA. Nutritional concerns for the child and adolescent competitor. *Nutrition* 2004; 20(7/8): 620-631.

3 Bass M, Turner L, and Hunt S. Counseling female athletes: Application of the stages of change model to avoid disordered eating, amenorrhea, and osteoporosis. *Psychol Rep* 2001; 88(3), pt. 2: 1153-1160.

4 Warren MP and Perlroth NE. The effects of intense exercise on the female reproductive system. *Journal of Endocrinology* 2001; 170(1): 3-11.

5 Korpelainen R, Orava S, Karpakka J, Siira P, and Hulkko A. Risk factors for recurrent stress fractures in athletes. *American Journal of Sports Medicine* 2001; 29(3): 304-310.

6 Nattiv A. Stress fractures and bone health in track and field athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2000; 3(3): 268-279.

7 Tarnopolsky LJ, MacDougall JD, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, and Sutton JR. Gender differences in substrate for endurance exercise. *Journal of Applied Physiology* 1990; 68: 302-308.

8 Gabel KA. The female athlete. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: pp. 417-428.

9 Burke LM, Cox GR, Culmmings NK, and Desbrow B. Guidelines for daily carbohydrate intake: Do athletes achieve them? *Sports Medicine* 2001; 31(4): 267-299.

10 Lemon PWR. Do athletes need more dietary protein and amino acids? *International Journal of Sport Nutrition* 1995; 5: S39-S61.

11 Perry AC, Crane LS, Applegate B, Marquez-Sterling S, Signorile JF, and Miller PC. Nutrient intake and psychological and physiological assessment in eumenorrheic and amenorrheic female athletes: A preliminary study. *International Journal of Sport Nutrition* 1996; 6: 3-13.

12 Manore MM. Vitamin B_6 and exercise. *International Journal of Sport Nutrition* 1994; 4: 89-103.

13 Huang YC, Chen W, Evans MA, Mitchell ME, and Shultz TD. Vitamin B-6 requirement and status assessment of young women fed a high-protein diet with various levels of vitamin B-6. *American Journal of Clinical Nutrition* 1998; 67: 208-220.

14 Pate RR, Miller BJ, Davis JM, Slentz CA, and Kling-Shirn LA. Iron status of female runners. *International Journal of Sport Nutrition* 1993; 6: 3-13.

15 Fogelholm M. Indicators of vitamin and mineral status in athletes blood: A review. *International Journal of Sport Nutrition* 1995; 5: 267-284.

16 Dueck CA, Manore MM, and Matt KS. Role of energy balance in athletic menstrual dysfunction. *International Journal of Sport Nutrition* 1996; 6(2): 165-190.

17 Van de Loo DA and Johnson MD. The young female athlete. *Clinical Sports Medicine* 1995; 14(3): 687-707.

18 Nelson Steen S. Nutrition for the school-aged child athlete. In: *The child and adolescent athlete* (Ed. Bar-Or O). Oxford: Blackwell Science. 1996: pp. 260-273.

19 Unnithan VB and Baxter-Jones ADG. The young athlete. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: p. 430.

20 Chumlea WC, Schubert CM, Roche AF, Kulin HE, Lee PA, Himes JH, and Sun SS. Age at menarche and racial comparisons in US girls. *Pediatrics* 2003; 111(1): 110-113.

21 American Academy of Pediatrics, Committee on Sports Medicine and Fitness. Intensive training and sports specialization in young athletes. *Pediatrics* 2000; 106(1): 154-157.

22 Kurz KM. Adolescent nutritional status in developing countries. *Proceedings of the Nutrition Society* 1996; 55: 321-331.

23 Beard J and Tobin B. Iron status and exercise. *American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 72(2): S594-S597.

24 Hebestreit H, Meyer F, Htay-Htay, Heigenhauser GJF, and Bar-Or O. Plasma metabolites, volume and electrolytes following 30-s high-intensity exercise in boys and men. *European Journal of Applied Physiology* 1996; 72: 563-569.

25 Martinez LR and Haymes EM. Substrate utilization during treadmill running in prepubertal girls and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1992; 24: 975-983.

26 Petrie HJ, Stover EA, and Horswill CA. Nutritional concerns for the child and adolescent competitor. *Nutrition* 2004; 20(7/8): 620-631.

27 American Academy of Pediatrics, Committee on Sports Medicine and Fitness. Intensive training and sports specialization in young athletes. *Pediatrics* 2000; 106(1): 154-157.

28 Bompa T. *From childhood to champion athlete.* Toronto: Veritas. 1995.

29 Bar-Or O, Dotan R, Inbar O, Rothstein A, and Zonder H. Voluntary hypohydration in 10- to 12-year-old boys. *Journal of Applied Physiology* 1980; 48: 104-108.

30 Bar-Or O. Nutrition for child and adolescent athletes. *Sports Science Exchange* 2000; 12(2): #77.

31 Bar-Or O. Nutrition for child and adolescent athletes. *Sports Science Exchange* 2000; 13(2): #77.

32 Campbell WW and Geik RA. Nutritional considerations for the older athlete. *Nutrition* 2004; 20(7/8): 603-608.

33 Miller KK. Mechanisms by which nutritional disorders cause reduced bone mass in adults. *Journal of Womens Health* 2003; 12(2): 145-150.

34 Kenney WL. The older athlete: Exercise in hot environments. *Sports Science Exchange* 1993; 6(3): #44.

35 Kenney WL and Hodgson JL. Heat tolerance, thermoregulation and aging. *Sports Medicine* 1987; 4: 446-456.

36 Kenney WL, Tankersley CG, Newswanger DL, Hyde DE, and Turner NL. Age and hypohydration independently influence the peripheral vascular response to heat stress. *Journal of Applied Physiology* 1990; 68: 1902-1908.

37 Kenney WL and Fowler SR. Methylcholine-activated eccrine sweat gland density and output as a function of age. *Journal of Applied Physiology* 1988; 65: 1082-1086.

38 Thompson J and Manore M. *Nutrition: An applied approach.* New York: Pearson-Benjamin Cummings. 2005: p. 600.

39 Nieman DC. Exercise immunology: Future directions for research related to athletes, nutrition, and the elderly. *International Journal of Sports Medicine* 2000; 21(suppl. 1): S61-S68.

Chapter 12

1 Okely AD, Booth ML, and Chey T. Relationships between body composition and fundamental movement skills among children and adolescents. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 2004; 75(3): 238-247.

2 Augestad LB, Saether B, and Gotestam KG. The relationship between eating disorders and personality in physically active women. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1999; 9: 304-312.

3 Williams, M.H. 1999. ***Nutrition for health, fitness, and sport.*** (New York: WCB McGraw-Hill). 317-318.

4 Saltzman, E., and Roberts, S.B. 1995. The role of energy expenditure in energy regulation: findings of a decade of research. *Nutr. Rev.* 53(8): 209-220.

5 Forbes, G.F., Brown, M.R., Welle, S.L., and Lipinski, B.A. 1986. Deliberate overfeeding in women and men: energy cost and composition of the weight gain. *Brit. J. of Nutr.* 56: 1-9.

6 Roberts, S.B., Young, V.R., Fuss, P., et al. 1990. Energy expenditure and subsequent nutrient intakes in overfed young men. *Am. J. Clin. Nutr.* 259: R461-9.

7 Diaz, E.O., Prentice, A.M., Goldberg, G.R., Murgatroyd, P.R., and Coward, W.A. 1992. Metabolic response to experimental overfeeding in lean and overweight healthy volunteers. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 641-55.

8 Leibel, R.L., Rosenbaum, M., and Hirsch, J. 1995. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *New Eng. J. Med.* 332: 621-8.

9 Archimedes was a Greek mathematician, engineer, and physicist. He discovered formulas for determining the area and volume of different shapes the principal of buoyancy.

10 Rhea DJ. Eating disorder behaviors of ethnically diverse urban female adolescent athletes and non-athletes. *Journal of Adolescence* 1999; 22(3): 379-388.

11 Sundgot-Borgen J and Torstveit MK. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2004; 14(1): 25-32.

12 Weimann E. Gender-related differences in elite gymnasts: The female athlete triad. *Journal of Applied Physiology* 2002; 92(5): 2146-2152.

13 Ramsay R and Wolman R. Are synchronized swimmers at risk of amenorrhoea? *British Journal of Sports Medicine* 2001; 35(4): 242-244.

14 Hinton PS, Sanford TC, Davidson MM, Yakushko OF, and Beck NC. Nutrient intakes and dietary behaviors of male and female collegiate athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(4): 389-405.

15 Sundgot-Borgen J. Eating disorders in athletes. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan RJ). London: Blackwell Science. 2000: pp. 510-522.

16 Warren MP and Goodman LR. Exercise-induced endocrine pathologies. *Journal of Endocrinology Investigation* 2003; 26(9): 873-878.

17 Thompson RA and Trattner-Sherman R. *Helping athletes with eating disorders.* Champaign, IL: Human Kinetics. 1993.

18 Brownell KD and Rodin J. Prevalence of eating disorders in athletes. In: *Eating, body weight and performance in athletes: Disorders of modern society* (Ed. Brownell KD, Rodin J, and Wilmore JH). Philadelphia: Lea & Febiger. 1992: pp. 128-143.

19 Manore MM. Dietary recommendations and athletic menstrual dysfunction. *Sports Medicine* 2002; 32(14): 887-901.

20 Fogelholm GM, Koskinen R, and Lasko J. Gradual and rapid weight loss: Effects on nutrition and performance in male athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1993; 25(3): 371-377.

21 Fogelholm M. Effects of bodyweight reduction on sports performance. *Sports Medicine* 1994; 18(4): 249-267.

22 Reading KJ, McCarger LI, and Harber VJ. Energy balance and luteal phase progesterone levels in elite adolescent aesthetic athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2002; 12(1): 93-104.

Chapter 13

1 Grivetti, L.E., and Applegate, E.A. 1997. From Olympia to Atlanta: A cultural-historical perspective on diet and athletic training. *J. Nutr.* 127 (5): 860S-868S.

2 Recht, L.D., Lew, R.A., and Schwartz, W.J. 1995. Baseball teams beaten by jet lag. *Nature* 377 (6550): 583.

3 Whitley, J.D., and Terrio, T. 1998. Changes in peak torque arm-shoulder strength of high school baseball pitchers during the season. *Percept. Motor Skills* 86: 1361-1362.

4 MacWilliams, B.A., Choi, T., Perezous, M.K., Chao, E.Y., and McFarland, E.G. 1998. Characteristic ground-reaction forces in baseball pitching. *Am. J. Sports Med.* 26: 66-71.

5 Palumbo CM and Clark N. Case problem: Nutrition concerns related to the performance of a baseball team. *Journal of the American Dietetic Association* 2000; 100(6): 704-707.

6 Yoshida, T., Nakai, S., Yorimoto, A., Kawabata, T., and Morimoto, T. 1995. Effect of aerobic capacity on sweat rate and fluid intake during outdoor exercise in the heat. *Eur. J. Appl. Physiol.* 71: 235-239.

7 Bast, S.C., Perry, J.R., Poppiti, R., Vangsness, C.T., and Weaver, F.A. 1996. Upper extremity blood flow in collegiate and high school baseball pitchers: A preliminary report. *Am. J. Sports Med.* 24 (6): 847-851.

8 Schulz, R., and Curnow, C. 1988. Peak performance and age among superathletes: Track and field, swimming, baseball, tennis, and golf. *J. Gerontology* 43 (5): 113-120.

9 van der Ploeg GE, Brooks AG, Withers RT, Dollman, J, Leaney F, Chatterton BE. Body composition changes in female bodybuilders during preparation for competition. *European Journal of Clinical Nutrition* 2001; 55(4): 268-277.

10 Morrison LJ, Gizis F, and Shorter B. Prevalent use of dietary supplements among people who exercise at a commercial gym. International *Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(4): 481-492.

11 Hickson, J.F., Johnson, T.E., Lee, W., and Sidor, R.J. 1990. Nutrition and the precontent preparations of a male bodybuilder. *J. Am. Diet. Assoc.* 90 (2): 264-267.

12 Britschgi, F., and Zund, G. 1991. Bodybuilding: Hypokalemia and hypophosphatemia. *Schweiz Med. Wochenschr.* 121 (33): 1163-1165.

13 Hickson, J.F., Johnson, T.E., Lee, W., and Sidor, R.J. 1990. Nutrition and the precontent preparations of a male bodybuilder. *J. Am. Diet. Assoc.* 90 (2): 264-267.

14 Barron, R.L., and Vanscoy, G.J. 1993. Natural products and the athlete: Facts and folklore. *Ann. Pharmacother.* 27 (5): 607-615.

15 Kleiner, S.M., Bazzarre, T.L., and Litchford, M.D. 1990. Metabolic profiles, diet, and health practices of championship male and female bodybuilders. *J. Am. Diet. Assoc.* 90 (7): 962-967.

16 Bosselaers, I., Buemann, B., Victor, O.J., and Astrup, A. 1994. Twenty-four hour energy expenditure and substrate utilization in body builders. *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 10-12.

17 Lambert CP, Frank LL, and Evans WJ. Macronutrient considerations for the sport of bodybuilding. *Sports Medicine* 2004; 34(5): 317-327.

18 Andersen, R.E., Barlett, S.J., Morgan, G.D., and Brownell, K.D. 1995. Weight loss, psychological, and nutritional patterns in competitive male body builders. *Int. J. Eat. Disord.* 181 (1): 49-57.

19 Jonnalagadda SS, Rosenbloom CA, and Skinner R. Dietary practices, attitudes, and physiological status of collegiate freshman football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2001; 15(4): 507-513.

20 Kreider, R.B., Ferreira, M., Wilson, M., Grindstaff, P., Plisk, S., Reinardy, J., Cantler, E., and Almada, A.L. 1998. Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (1): 73-82.

21 Stone MH, Sanborn K, Smith LL, O'Bryant HS, Hoke T, Utter AC, Johnson RL, Boros R, Hruby J, Pierce KC, Stone ME, and Garner B. Effects of in-season (5 weeks) creatine and pyruvate supplementation on anaerobic performance and body composition in American Football Players. *International Journal of Sport Nutrition* 1999; 9(2): 146-165.

22 Mayhew DL, Mayhew JL, and Ware JS. Effects of long-term creatine supplementation on liver and kidney functions in American college football players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2002; 12(4): 453-460.

23 Clancy, S.P., Clarkson, P.M., DeCheke, M.E., Nosaka, K., Freedson, P.S., Cunningham, J.J., and Valentine, B. 1994. Effects of chromium picolinate supplementation on body composition, strength, and urinary chromium loss in football players. *Int. J. Sport Nutr.* 4 (2): 142-153.

24 Burke, L.M., and Hawley, J.A. 1997. Fluid balance in team sports: Guidelines for optimal practices. *Sports Med.* 24 (1): 38-54.

25 Criswell, D., Powers, D., Lawler, J., Tew, J., Dodd, S., Iryiboz, Y., Tulley, R., and Wheeler, K. 1991. Influence of a carbohydrate-electrolyte beverage on performance and blood homeostasis during recovery from football. *Int. J. Sport Nutr.* 1 (2): 178-191.

26 Parks, P.S., and Read, M.H. 1997. Adolescent male athletes: Body image, diet, and exercise. *Adolescence* 32 (127): 593-602.

27 Wang, M.Q., Downey, G.S., Perko, M.A., and Yesalis, C.E. 1993. Changes in body size of elite high school football players: 1963-1989. *Percept. Motor Skills* 76 (2): 379-383.

28 Gomez, J.E., Ross, S.K., Calmbach, W.L., Kimmel, R.B., Schmidt, D.R., and Dhanda, R. 1998. Body fatness and increased injury rates in high school football linemen. *Clin. J. Sport Med.* 8 (2): 115-120.

29 Kaplan, T.A., Digel, S.L., Scavo, V.A., and Arellana, S.B. 1995. Effect of obesity on injury risk in high school football players. *Clin. J. Sport Med.* 5 (1): 43-47.

30 Huddy, D.C., Nieman, D.C., and Johnson, R.L. 1993. Relationship between body image and percent body fat among college male varsity athletes and nonathletes. *Percept. Motor Skills* 77 (3): 851-857.

31 DePalma, M.T., Koszewski, W.M., Case, J.G., Barile, R.J., DePalma, B.F., and Oliaro, S.M. 1993. Weight control practices of lightweight football players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25 (6): 694-701.

32 Hickson, J.F., Jr., Duke, M.A., Risser, W.L., Johnson, C.W., Palmer, R., and Stockton, J.E. 1987. Nutritional intake from food sources of high school football athletes. *J. Am. Diet. Assoc.* 87 (12): 1656-1659.

33 Jehue, R., Street, D., and Huizenga, R. 1993. Effect of time zone and game time changes on team performance: National Football League. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25 (1): 127-131.

34 Maddux, G.T. 1970. *Men's gymnastics.* Pacific Palisades, CA: Goodyear Publishing, 9.

35 Weimann E, Blum WF, Witzel C, Schwidergall S, and Bohles HJ. Hypoleptinemia in female and male elite gymnasts. *European Journal of Clinical Invesigation* 1999; 29(10): 853-860.

36 Weimann E, Witzel C, Schwidergall S, and Bohles HJ. Peripubertal perturbations in elite gymnasts caused by sport specific training regimes and inadequate nutritional intake. *International Journal of Sports Medicine* 2000; 21(3): 210-215.

37 Constantini NW, Eliakim A, Zigel L, Yaaron M, and Falk B. Iron status of highly active adolescents: Evidence of depleted iron stores in gymnasts. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10(1): 62-70.

38 Houtkooper, L.B., and Going, S.B. 1994. Body composition: How should it be measured? Does it affect sport performance? *Gatorade Sports Sci. Inst.: Sports Sci. Exch.* 52: 7 (5s).

39 Bortz, S., Schoonen, J.C., Kanter, M., Kosharek, S., and Benardot, D. 1993. Physiology of anaerobic and aerobic exercise. In *Sports nutrition: A guide for the professional working with active people*, ed. Benardot, D., 2-10. Chicago, IL: American Dietetic Association.

40 Benardot, D., and Czerwinski, C. 1991. Selected body composition and growth measures of junior elite gymnasts. *J. Am. Diet. Assoc.* 91 (1): 29-33.

41 Benardot, D., Schwarz, M., and Heller, D.W. 1989. Nutrient intake in young, highly competitive gymnasts. *J. Am. Diet. Assoc.* 89: 401-403.

42 Benardot, D. 1996. Working with young athletes: Views of a nutritionist on the Sports Medicine team. *Int. J. Sport Nutr.* 6 (2): 110-120.

43 Loosli, A.R. 1993. Reversing sports-related iron and zinc deficiencies. *Phys. Sportsmed.* 21 (6): 70-78.

44 Burns, J., and Dugan, L. 1994. Working with professional athletes in the rink: The evolution of a nutrition program for an NHL team. *Int. J. Sport Nutr.* 4 (2): 132-134.

45 Akermark, C., Jacobs, I., Rasmussen, M., and Karlsson, J. 1996. Diet and muscle glycogen concentration in relation to physical performance in Swedish elite ice hockey players. *Int. J. Sport Nutr.* 6 (3): 272-284.

46 Davis JM, Welsh RS, and Alerson NA. Effects of carbohydrate and chromium ingestion during intermittent high-intensity exercise to fatigue. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10(4): 476-485.

47 Houston, M.E. 1979. Nutrition and ice hockey performance. *Can. J. Appl. Sport Sci.* 4 (1): 98-99.

48 Tegelman, R., Aberg, T., Pousette, A., and Carlstrom, K. 1992. Effects of a diet regimen on pituitary and steroid hormones in male ice hockey players. *Int. J. Sports Med.* 13 (5): 424-430.

49 Glycogen synthetase is a hormone that is elevated as glycogen storage becomes depleted. Following a game or training session, the higher circulating glycogen synthetase enables an efficient replacement of glycogen if carbohydrates and fluids are consumed.

50 Horswill, C.A., Hickner, R.C., Scott, J.R., Costill, D.L., and Gould, D. 1990. Weight loss, dietary carbohydrate modifications, and high intensity, physical performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22 (4): 470-476.

51 Sugiura K, Suzuki I, and Kobayashi K. Nutritional intake of elite Japanese track-and-field athletes. *International Journal of Sport Nutrition* 1999; 9(2): 202-212.

52 Nattiv A. Stress fractures and bone health in track and field athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2000; 3(3): 268-279.

53 Grediagin, M.A., Cody, M., Rupp, J., Benardot, D., and Shern, R. 1995. Exercise intensity does not effect body composition change in untrained, moderately overfat women. *J. Am. Diet. Assoc.* (95) 6: 661-665.

54 Kreider, R.B., Ferreira, M., Wilson, M., Grindstaff, P., Plisk, S., Reinardy, J., Cantler, E., and Almada, A.L. 1998. Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (1): 73-82.

55 Chwalbinska-Moneta J. Effect of creatine supplementation on aerobic performance and anaerobic capacity in elite rowers in the course of endurance training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; 13(2): 173-183.

56 Nevill, M.E., Williams, C., Roper, D., Slater, C., and Nevill, A.M. 1993. Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *J. Sports Sci.* 11 (2): 119-126.

57 Sherman, W.M., Doyle, J.A., Lamb, D.R., and Strauss, R.H. 1993. Dietary carbohydrate, muscle glycogen, and exercise performance during seven days of training. *Am. J. Clin. Nutr.* 57 (1): 27-31.

58 Berning, J.R., Troup, J.P., VanHandel, P.J., Daniels, J., and Daniels, N. 1991. The nutritional habits of young adolescent swimmers. *Int. J. Sport Nutr.* 1(3): 240-248.

59 Braun WA, Flynn MG, Carl DL, Carroll KK, Brickman T, and Lambert CP. Iron status and resting immune function in female collegiate swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10(4): 425-433.

60 Guinard, J.X., Seador, K., Beard, J.L., and Brown, P.L. 1995. Sensory acceptability of meat and dairy products and dietary fat in male collegiate swimmers. *Int. J. Sport Nutr.* 5(4): 315-328.

61 Lamb, D.R. *Basic principles for improving sport performance.* 1995. Gatorade Sports Science Exchange (#55) 8(2).

62 Microsoft. 1993-1996. "Wrestling." Encarta 97 Encyclopedia. CD-ROM: Microsoft Corporation.

63 Sossin, K., Gizis, F., Marquart, L.F., and Sobal, J. 1997. Nutrition beliefs, attitudes, and resource use of high school wrestling coaches. *Int. J. Sport Nutr.* 7 (3): 219-228.

64 Oppliger, R.A., Case, H.S., Horswill, C.A., Landry, G.L., and Shelter, A.C. 1996. American College of Sports Medicine position stand: Weight loss in wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28 (6): ix-xii.

65 Oppliger RA, Steen SA, and Scott JR. Weight loss practices of college wrestlers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; 13(1): 29-46.

66 Wroble, R.R., and Moxley, D.P. 1998. Weight loss patterns and success rates in high school wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (4): 625-628.

67 Wroble, R.R., and Moxley, D.P. 1998. Acute weight gain and its relationship to success in high school wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (6): 949-951.

68 Roemmich, J.N., and Sinning, W.E. 1997. Weight loss and wrestling training: Effects on growth-related hormones. *J. Appl. Physiol.* 82 (6): 1760-1764.

69 Roemmich, J.N., and Sinning, W.E. 1997. Weight loss and wrestling training: Effects on nutrition, growth, maturation, body composition, and strength. *J. Appl. Physiol.* 82 (6): 1751-1759.

70 Rankin, J.W., Ocel, J.V., and Craft, L.L. 1996. Effect of weight loss and refeeding diet composition on anaerobic performance in wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28 (10): 1292-1299.

71 Choma, C.W., Sforzo, G.A., and Keller, B.A. 1998. Impact of rapid weight loss on cognitive function in collegiate wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (5): 746-749.

72 Horswill, C.A. 1993. Weight loss and weight cycling in amateur wrestlers: Implications for performance and resting metabolic rate. *Int. J. Sport Nutr.* (3): 245-260.

73 Oppliger, R.A., Harms, R.D., Herrmann, D.E., Streich, C.M., and Clark, R.R. 1995. The Wisconsin wrestling minimum weight project: A model for weight control among high school wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (8): 1220-1224.

74 Burke DG, Silver S, Holt LE, Smith Palmer T, Culligan CJ, and Chilibeck PD. The effect of continuous low dose creatine supplementation on force, power, and total work. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10(3): 235-244.

75 Ronsen O, Sundgot-Borgen J, and Maehlum S. Supplement use and nutritional habits in Norwegian elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1999; 9(1): 28-35.

76 Juzwiak CR and Ancona-Lopez F. Evaluation of nutrition knowledge and dietary recommendations by coaches of adolescent Brazilian athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(2): 222-235.

77 Coyle EF. Fluid and fuel intake during exercise. *Journal of Sports Sciences* 2004; 22(1): 39-55.

Chapter 14

1 Sizer, F., and Whitney, E. 1997. *Nutrition: Concepts and controversies* (7th ed.). Albany, NY: West/Wadsworth: 383.

2 Pyruvate has been studied as an ergogenic aid to determine if supplemental doses improve performance. Since pyruvate infusion is a self-limiting pathway, it has not been found to be ergogenic. [Juhn MS. Ergogenic aids in aerobic activity. *Current Sports Medicine Reports* 2002; 1(4): 233-238.]

3 The tricarboxylic acid cycle is commonly referred to as the Krebs cycle, named for Hans Krebs, who first described the oxidative metabolic reactions. It is also referred to as the citric acid cycle because citric acid is required for one of the first reactions in the cycle. Therefore, the tricarboxylic acid cycle, Krebs cycle, and citric acid cycle are all referring to the same energy-yielding reactions.

4 Johnson NA, Stannard SR & Thompson MW. Muscle triglyceride and glycogen in endurance exercise: implications for performance. *Sports Medicine* 2004; 34(3): 151-64.

5 Uusitalo AL, Valkonen-Korhonen M, Helenius P, Vanninen E, Bergström KA, Kuikka JT. Abnormal serotonin reuptake in an overtrained, insomnic and depressed team athlete. *International Journal of Sports Medicine* 2004; 25(2): 150-53.

6 American College of Sports Medicine. 1999. Overtraining: Consensus statement. *Sports Medicine Bulletin* 31 (1): 29.

7 American College of Sports Medicine. 1999. Overtraining: Consensus statement. *Sports Medicine Bulletin* 31 (1): 29.

8 Asp, S., Rohde, T., and Richter, E.A. 1997. Impaired muscle glycogen resynthesis after a marathon is not caused by decreased muscle GLUT-4 content. *J. Appl. Physiol.* 83 (5): 1482-1485.

9 Naughton G, Farpour-Lambert NJ, Carlson J, Bradney M, and VanPraagh E. Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports Medicine* 2000; 30(5): 309-325.

10 Farber, H.W., Schaefer, E.J., Franey, R., Grimaldi, R., and Hill, N.S. The endurance triathlon: Metabolic changes after each event and during recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23 (8): 959-965.

11 Dressendorfer, R.H., and Wade, C.E. 1991. Effects of a 15-d race on plasma steroid levels and leg muscle fitness in runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23 (8): 954-958.

12 Sherman, W.M., and Maglischo, E.W. 1991. Minimizing chronic athletic fatigue among swimmers: Special emphasis on nutrition. *Sports Sci. Exch.* 4(35).

13 Niekamp, R.A., and Baer, J.T. 1995. In-season dietary adequacy of trained male cross-country runners. *Int. J. Sport Nutr.* 5: 45-55.

14 Butterworth, D.E., Nieman, D.C., Butler, J.V., and Herring, J.L. 1994. Food intake patterns of marathon runners. *Int. J. Sport Nutr.* 4 (1): 1-7.

15 Houtkooper, L. 1992. Food selection for endurance sports. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24 (9): S349-S359.

16 Hickner, R.C., Fisher, J.S., Hansen, P.A., Racette, S.B., Mier, C.M., Turner, M.J., and Holloszy, J.O. 1997. Muscle glycogen accumulation after endurance exercise in trained and untrained individuals. *J. Appl. Physiol.* 83 (3): 897-903.

17 Helmich, P., Christensen, S.W., Darre, E., Jahnsen, F., and Hartvig, T. 1989. Non-elite marathon runners: Health, training, and injuries. *Br. J. Sports Med.* 23 (3): 177-178.

18 Fogelholm, M., Tikkanen, H., Naveri, H., and Harkonen, M. 1989. High-carbohydrate diet for long distance runners: A practical view-point. *Br. J. Sports Med.* 23 (2): 94-96.

19 Nieman, D.C., Gates, J.R., Butler, J.V., Pollett, L.M., Dietrich, S.J., and Lutz, R.D. 1989. Supplementation patterns in marathon runners. *J. Am. Diet. Assoc.* 89 (11): 1615-1619.

20 Rokitzki, L., Hinkel, S., Klemp, C., Cufi, D., and Keul, J. 1994. Dietary, serum, and urine ascorbic acid status in male athletes. *Int. J. Sports Med.* 15 (7): 435-440.

21 Rokitzki, L., Sagredos, A.N., Reuss, F., Buchner, M., and Keul, J. 1994. Acute changes in vitamin B_6 status in endurance athletes before and after a marathon. *Int. J. Sport Nutr.* 4 (2): 154-165.

22 Terblanche, S., Noakes, T.D., Dennis, S.C., Marais, D., and Eckert, M. 1992. Failure of magnesium supplementation to influence marathon running performance or recovery in magnesium-replete subjects. *Int. J. Sport Nutr.* 2 (2): 154-164.

23 Barnett, D.W., and Conlee, R.K. 1984. The effects of a commercial dietary supplement on human performance. *Am. J. Clin. Nutr.* 40 (3): 586-590.

24 Sloniger, M.A., Cureton, K.J., and O'Bannon, P.J. 1997. One-mile run-walk performance in young men and women: Role of anaerobic metabolism. *Can. J. Appl. Physiol.* 22 (4): 337-350.

25 Penn, I.W., Wang, Z.M., Buhl, K.M., Allison, D.B., Burastero, S.E., Heymsfield, S.B. 1994. Body composition and two-compartment model assumptions in male long-distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 392-397.

26 Reeder, M.T., Dick, B.H., Atkins, J.K., Pribis, A.B., and Martinez, J.M. 1996. Stress fractures: Current concepts of diagnosis and treatment. *Sports Med.* 22 (3): 198-212.

27 Deuster, P.A., Kyle, S.B., Moser, P.B., Vigersky, R.A., Singh, A., and Schoomaker, E.B. 1986. Nutritional intakes and status of highly trained amenorrheic and eumenorrheic women runners. *Fertil. Steril.* 46 (4): 636-643.

28 Beidleman, B.A., Puhl, J.L., and DeSouza, M.J. 1995. Energy balance in female distance runners. *Am. J. Clin. Nutr.* 61: 303-311.

29 Rontoyannis, G.P., Skoulis, T., and Pavlou, K.N. 1989. Energy balance in ultramarathon running. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 976-979.

30 Eden, B.D., and Abernethy, P.J. 1994. Nutritional intake during an ultraendurance running race. *Int. J. Sport Nutr.* 4: 166-174.

31 Millard-Stafford, M.L., Sparling, P.B., Rosskopf, L.B., and DiCarlo, L.J. 1992. Carbohydrate-electrolyte replacement improves distance running performance in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24 (8): 934-940.

32 Hedley AM, Climstein M, and Hansen R. The effects of acute heat exposure on muscular strength, muscular endurance, and

muscular power in the euhydrated athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2002; 16(3): 353-358.

33 Noakes, T.D., Adams, B.A., Myburgh, K.H., Greeff, C., Lotz, T., and Nathan, M. 1988. The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise: A novel concept re-visited. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57 (2): 210-219.

34 Dennis, S.C., and Noakes, T.D. 1999. Advantages of a smaller body mass in humans when distance-running in warm, humid conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79 (3): 280-284.

35 Schumacher YO, Schmid A, Grathwohl D, Bultermann D, and Berg A. Hematological indices and iron status in athletes of various sports and performances. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002; 34(5): 869-875.

36 Erythropoietin is associated with multiple deaths because it may cause a dangerously high increase in blood viscosity.

37 Tokish JM, Kocher MS, and Hawkins RJ. Ergogenic aids: A review of basic science, performance, side effects, and status in sports. *American Journal of Sports Medicine* 2004; 32(6): 1543-1553.

38 Lamanca JJ, Haymes EM, Daly JA, Moffatt RJ, and Waller MF. Sweat iron loss of male and female runners during exercise. *International Journal of Sports Medicine* 1988; 9(1): 52-55.

39 Selby GB and Eichner ER. Endurance swimming, intravascular hemolysis, anemia, and iron depletion: New perspective on athlete's anemia. *American Journal of Medicine* 1986; 81(5): 791-794.

40 Ehn L, Carlmark B, and Hoglund S. Iron status in athletes involved in intense physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1980; 12(1): 61-64.

41 Noakes T. *Lore of running*. Champaign, IL: Human Kinetics. 1991: p. 695.

42 Bentley, D.J., Wilson, G.J., Davie, A.J., and Zhou, S. 1998. Correlations between peak power output, muscular strength, and cycle time trial performance in triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 38 (3): 201-207.

43 Laurenson, N.M., Fulcher, K.Y., and Korkia, P. 1993. Physiological characteristics of elite and club level female triathletes during running. *Int. J. Sports Med.* 14 (8): 455-459.

44 Gulbin, J.P., and Gaffney, P.T. 1999. Ultraendurance triathlon participation: Typical race preparation of lower-level triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 39 (1): 12-15.

45 Banister, E.W., Carter, J.B., and Zarkadas, P.C. 1999. Training theory and taper: Validation in triathlon athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79 (2)182-191.

46 Guezennec, C.Y., Chalabi, H., Bernard, J., Fardellone, P., Krentowski, R., Zerath, E., and Meunier, P.J. 1998. Is there a relationship between physical activity and dietary calcium intake? A survey in 10,373 young French subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (5): 732-739.

47 Kerr, C.G., Trappe, T.A., Starling, R.D., and Trappe, S.W. 1998. Hyperthermia during Olympic triathlon: Influence of body heat storage during the swimming stage. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (1): 99-104.

48 Rogers, G., Goodman, C., and Rosen, C. 1997. Water budget during ultra-endurance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29 (11): 1477-1481.

49 O'Toole, M.L., Douglas, P.S., Laird, R.H., and Hiller, D.B. 1995. Fluid and electrolyte status in athletes receiving medical care at an ultradistance triathlon. *Clin. J. Sport Med.* 5 (2): 116-122

50 Speedy, D.B., Faris, J.G., Hamlin, M., Gallagher, P.G., and Campbell, R.G. 1997. Hyponatremia and weight changes in an ultradistance triathlon. *Clin. J. Sport Med.* 7 (3): 180-184.

51 Speedy DB, Noakes TD, Kimber NE, Rogers IR, Thompson JM, Boswell DR, Ross JJ, Campbell RG, Gallagher PG, and Kuttner JA. Fluid Balance During and After an Ironman Triathlon. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2001; 11(1): 44-50.

52 Rehrer, N.J., van Kemenade, M., Meester, W., Brouns, F., and Saris, W.H. 1992. Gastrointestinal complaints in relation to dietary intake in triathletes. *Int. J. Sport Nutr.* 2 (1): 48-59.

53 Clark, N., Tobin, J., Jr., and Ellis, C. 1992. Feeding the ultraendurance athlete: Practical tips and a case study. *J. Am. Diet. Assoc.* 92 (10): 1258-1262.

54 Frentsos, J.A., and Baer, J.T. 1997. Increased energy and nutrient intake during training and competition improves elite triathletes' endurance performance. *Int. J. Sport Nutr.* 7 (1): 61-71.

55 Ribeiro, J.P., Cadavid, E., Baena, J., Monsalvete, E., Barna, A., and DeRose, E.H. 1990. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. *Br. J. Sports Med.* 24 (3): 196-200.

56 Lee, E.J., Long, K.A., Risser, W.L., Poindexter, H.B., Gibbons, W.E., and Goldzieher, J. 1995. Variations in bone status of contralateral and regional sites in young athletic women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (10): 1354-1361.

57 Berning, J.R., Troup, J.P., VanHandel, P.J., Daniels, J., and Daniels, N. 1991. The nutritional habits of young adolescent swimmers. *Int. J. Sport Nutr.* 1 (3): 240-248.

58 Saris, W.H., Schrijver, J., van Erp Baart, M.A., and Brouns, F. 1989. Adequacy of vitamin supply under maximal sustained workloads: The Tour de France. *Int. J. Vitam. Nutr. Res. Suppl.* 30: 205-212.

59 Brouns, F., Saris, W.H., Stroecken, J., Beckers, E., Thijssen, R., Rehrer, J.N., and ten Hoor, F. 1989. Eating, drinking, and cycling: A controlled Tour de France simulation study, Part II. Effect of diet manipulation. *Int. J. Sports Med.* 10 (S1): S41-S48.

60 Weiler, J.M., Layton, T., and Hunt, M. 1998. Asthma in United States Olympic athletes who participated in the 1996 Summer Games. *J. Allergy Clin. Immunol.* 102 (5): 722-726.

61 Brown RC. Nutrition for optimal performance during exercise: Carbohydrate and fat. *Current Sports Medicine Reports* 2002; 1(4): 222-229.

62 Miller SL and Wolfe RR. Physical exercise as a modulator of adaptation to low and high carbohydrate and low and high fat intakes. *European Journal of Clinical Nutrition* 1999; 53(suppl. 1): S112-S119.

63 Graham TE. Caffeine and exercise: Metabolism, endurance and performance. *Sports Medicine* 2001; 31(11): 785-807.

64 Hunter AM, St. Clair Gibson A, Collins M, Lambert M, and Noakes TD. Caffeine ingestion does not alter performance during a 100-km cycling time-trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2002; 12(4): 438-452.

Chapter 15

1 Bangsbo J. Team sports. In: *Nutrition in sport* (Ed. Maughan R). London: Blackwell Science. 2000: pp. 574-587.

2 Davis, M. 1995. Repeated sprint work is enhanced with consumption of a carbohydrate-electrolyte beverage. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: S223.

3 Nicholas, C.W., Williams, C., Phillips, G., and Nowitz, A. 1995. Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high intensity shuttle running. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 13: 282-290.

4 Below, P.R., Mora-Rodrigues, R., Gonzalez-Alonso, J., and Coyle, E.F. 1995. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during one hour of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (2): 200-210.

5 Murray, R., Paul, G.L., Seifert, J.G., and Eddy, D.E. 1991. Responses to varying rates of carbohydrate ingestion during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23 (6): 713-718.

6 Gisolfi, C.V., Summers, R.W., Schedl, H.P., and Bleiler, T.L. 1992. Intestinal water absorption from select carbohydrate solutions in humans. *J. Appl. Physiol.* 73: 2142-2150.

7 Lambert, C.P. 1991. Effects of carbohydrate feeding on multiple-bout resistance exercise. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 5: 129-197.

8 Ryan, A.J., Lambert, G.P., Shi, X., Chang, R.T., Summers, R.W., and Gisolfi, C.V. 1998. Effect of hypohydration on gastric emptying and intestinal absorption during exercise. *J. Appl. Physiol.* 84 (5): 1581-1588.

9 Horswill, C.A. 1998. Effective fluid replacement. *Int. J. Sport Nutr.* 8: 175-195.

10 American College of Sports Medicine. 1996. Position stand on exercise and fluid replacement. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: i-vii.

11 Corley, G., Demarest-Litchford, M., and Bazzarre, T.L. 1990. Nutrition knowledge and dietary practices of college coaches. *J. Am. Diet. Assoc.* 90 (5): 705-709.

12 Dubnov G and Constantini NW. Prevalence of iron depletion and anemia in top-level basketball players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(1): 30-37.

13 Nowak, R.K., Knudsen, K.S., and Schulz, L.O. 1988. Body composition and nutrient intakes of college men and women basketball players. *J. Am. Diet. Assoc.* 88 (5): 575-578.

14 Schroder H, Navarro E, Mora J, Galiano D, and Tramullas A. Effects of alpha-tocopherol, beta-carotene and ascorbic acid on oxidative, hormonal and enzymatic exercise stress markers in habitual training activity of professional basketball players. *European Journal of Nutrition* 2001; 40(4): 178-184.

15 Schroder H, Navarro E, Tramullas A, Mora J, and Galiano D. Nutrition antioxidant status and oxidative stress in professional basketball players: Effects of a three compound antioxidative supplement. *International Journal of Sports Medicine* 2000; 21(2): 146-150.

16 Maughan R. Contamination of supplements: An interview with professor Ron Maughan by Louise M. Burke. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(4): 493.

17 Mannix, E.T., Healy, A., and Farber, M.O. 1996. Aerobic power and supramaximal endurance of competitive figure skaters. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 36 (3): 161-168.

18 Delistraty, D.A., Reisman, E.J., and Snipes, M. 1992. A physiological and nutritional profile of young female figure skaters. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 32 (2): 149-155.

19 Ziegler PJ, Nelson JA, and Jonnalagadda SS. Use of dietary supplements by elite figure skaters. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; 13(3): 266-276.

20 Ziegler, P., Hensley, S., Roepke, J.B., Whitaker, S.H., Craig, B.W., and Drewnowski, A. 1998. Eating attitudes and energy intakes of female skaters. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (4): 583-586.

21 Ziegler PJ, Jonnalagadda SS, Nelson JA, Lawrence C, and Baciak B. Contribution of meals and snacks to nutrient intake of male and female elite figure skaters during peak competitive season. *Journal of American Collegiate Nutrition* 2002; 21(2): 114-119.

22 Smith, A.D., and Ludington, R. 1989. Injuries in elite pair skaters and ice dancers. *Am. J. Sports Med.* 17 (4): 482-488.

23 Kjaer, M., and Larsson, B. 1992. Physiological profile and incidence of injuries among elite figure skaters. *J. Sports Sci.* 10 (1): 29-36.

24 Ziegler PJ, Nelson JA, and Jonnalagadda SS. Nutritional and physiological status of U.S. national figure skaters. *International Journal of Sport Nutrition* 1999; 9(4): 345-360.

25 Tumilty, D. 1993. Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med.* 16 (2): 80-96.

26 Wittich, A., Mautalen, C.A., Oliveri, M.B., Bagur, A., Somoza, F., and Rotemberg, E. 1998. Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density, and size than age- and BMI-matched controls. *Calcif. Tissue Int.* 63 (2): 112-117.

27 Duppe, H., Gardsell, P., Johnell, O., and Ornstein, E. 1996. Bone mineral density in female junior, senior, and former football players. *Osteoporos. Int.* 6 (6): 437-441.

28 Tumilty, D. 1993. Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med.* 16 (2): 80-96.

29 Rico-Sanz, J. 1998. Body composition and nutritional assessments in soccer. *Int. J. Sport Nutr.* 8 (2): 113-123.

30 Maughan, R.J. 1997. Energy and macronutrient intakes of professional football (soccer) players. *Br. J. Sports Med.* 31 (1): 45-47.

31 Clark, K. 1994. Nutritional guidance to soccer players for training and competition. *J. Sports Sci.* 12: S43-S50.

32 Kirkendall, D.T. 1993. Effects of nutrition on performance in soccer. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25 (12): 1370-1374.

33 Clark M, Reed DB, Crouse SF, and Armstrong RB. Pre- and post-season dietary intake, body composition, and performance indices of NCAA division I female soccer players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; 13(3): 303-319.

34 Hargreaves, M. 1994. Carbohydrate and lipid requirements of soccer. *J. Sports Sci.* 12: S13-S16.

35 Davis JM, Welsh RS, and Alerson NA. Effects of carbohydrate and chromium ingestion during intermittent high-intensity exercise to fatigue. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10(4): 476-485.

36 Ostojic SM. Creatine supplementation in young soccer players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(1): 95-103.

37 Maughan RJ, Merson SJ, Broad NP, and Shirreffs SM. Fluid and electrolyte intake and loss in elite soccer players during training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; 14(3): 333-346.

38 Groppel, J.L., and Roetert, E.P. 1992. Applied physiology of tennis. *Sports Med.* 14 (4): 260-268.

39 Bergeron, M.F., Maresh, C.M., Kraemer, W.J., Abraham, A., Conroy, B., and Gabaree, C. 1991. Tennis: A physiological profile during match play. *Int. J. Sports Med.* 12 (5): 474-479.

40 Vergauwen, L., Brouns, F., and Hespel, P. 1998. Carbohydrate supplementation improves stroke performance in tennis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (8): 1289-1295.

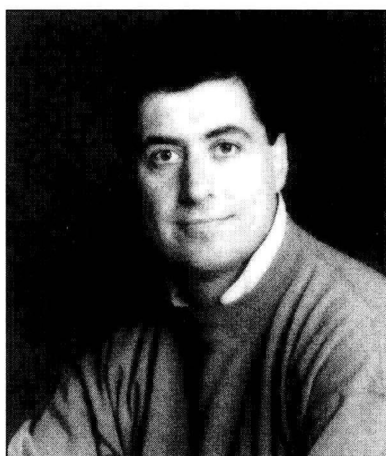
41 Bergeron, M.F., Maresh, C.M., Armstrong, L.E., Signorile, J.F., Castellani, J.W., Kenefick, R.W., LaGasse, K.E., and Riebe, D.A. 1995. Fluid-electrolyte balance associated with tennis match play in a hot environment. *Int. J. Sport Nutr.* 5 (3): 180-193.

42 Baxter-Jones, A.D., Helms, P., Baines-Preece, J., and Preece, M. 1994. Menarche in intensively trained gymnasts, swimmers, and tennis players. *Ann. Hum. Biol.* 21 (5): 407-415.

43 Harris MB. Weight concern, body image, and abnormal eating in college women tennis players and their coaches. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; 10(1): 1-15.

作者简介

丹·贝纳多特，博士，研究总监，美国运动医学学会院士，是佐治亚州立大学健康学院（School of Health Professions）营养系的副教授，同时也是该大学运动机能与健康系（Department of Kinesiology and Health）的副教授。贝纳多特担任着优秀运动员运动能力实验室的联合总监，在该实验室中，运动员接受训练与营养补充计划，以期达到最佳的运动表现。



作为国家队的营养学家与美国体操运动员健康计划（Athlete Wellness Program for USA Gymnastics）的创始会员，贝纳多特与1996年亚特兰大奥运会的金牌获得者——女子体操队，以及2004年雅典奥运会马拉松的美国金牌获得者曾经共同工作。他曾任美国花样滑冰运动医学会的主管。包括美国奥林匹克委员会在内的多个组织机构曾经为他的研究提供资金。除了与许多个人项目与集体项目的运动员进行合作之外，贝纳多特还兼任Calorie & Pulse Technologies，LLC的首席科学顾问。该公司创办了一个网站（www.SportsNutritionClinic.com），为运动员获得最佳运动成绩提供帮助。

贝纳多特获得了美国康奈尔大学（Cornell University）人类营养与健康计划的博士学位以及玛丽伍德大学（Marywood University）的人文文学（humane letters）名誉博士学位。他是美国饮食协会（ADA）的注册与许可营养师。美国运动医学学会（ACSM）的研究员。除了为许多的出版物杂志撰写文章之外，他还是美国饮食协会的《运动营养学：职业运动员专业指南，*Sports Nutrition: A Guide for Professional Working with Active People*》（第2版）的主编，并撰写了《专业运动员营养学》，并且是《美国运动医学学会健身手册，*ACSM Fitness Book*》（第3版）合著者之一。贝纳多特出生于希腊的萨洛尼卡，在纽约北部的 Lake Placid 地区的成长经历使他萌发了对体育的浓厚兴趣。目前，他居住在佐治亚州的亚特兰大，喜爱网球与摄影。

版 权 声 明

书名：Advanced Sports Nutrition

版权合同登记号：图字 01-2009-3467